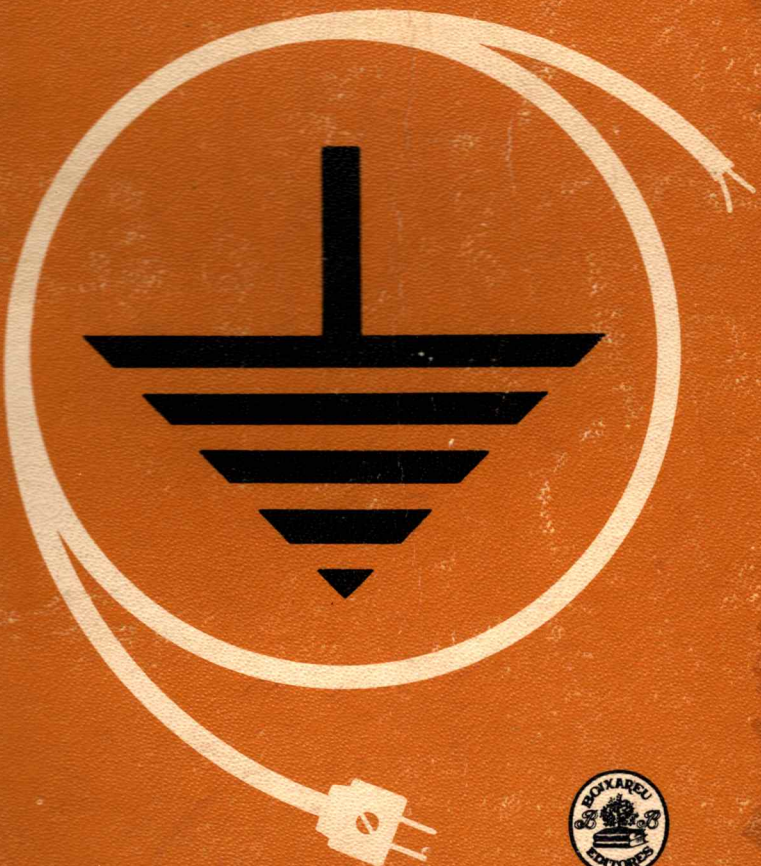
EL INSTALADOR CUALIFICADO

instalaciones de puesta a tierra

VITTORIO RE



marcombo
BOIXAREU EDITORES

EL INSTALADOR CUALIFICADO

VITTORIO RE

instalaciones de puesta a tierra

Traducido del italiano por
Jaime Riba Sardá

marcombo
BOIXAREU EDITORES

BARCELONA-MEXICO

LOSA Libros Ltda.
COLONIA 1551/53 - TEL. 41 29 05
MONTEVIDEO — URUGUAY

NOTA: En todos aquellos casos en que en el texto se alude a la legislación vigente en Italia, de no existir una Nota del Traductor que efectúe la oportuna rectificación, debe entenderse que la legislación española al respecto es coincidente y, por tanto, es válido para el instalador español cuanto se dice en el texto. Recordemos que la normativa española sobre instalaciones eléctricas (y, por supuesto, las tomas de tierra) está contenida en el "Reglamento Electrotécnico para baja tensión", decreto 2413/1973 de 20 septiembre, publicado en el B. O. n.º 242 de 9 de octubre de 1973, y en las "Instrucciones Complementarias" aprobadas según Orden Ministerial publicada en el B. O. n.º 310 de 27 de diciembre de 1973.
Por lo que respecta a la prevención de accidentes laborales, está vigente la "Ordenanza general de Seguridad e Higiene en el trabajo", aprobada por Orden de 9 de marzo de 1971, emitida por el Ministerio del Trabajo.

© Reservados todos los derechos de publicación, reproducción, préstamo, alquiler o cualquier otra forma de cesión del uso de este ejemplar de la presente edición española por MARCOMBO, S. A., 1989
Gran Via de les Corts Catalanes, 594
08007 Barcelona

No se permite la reproducción total o parcial de este libro, ni el almacenamiento en un sistema de informática ni transmisión en cualquier forma o por cualquier medio, electrónico, mecánico, fotocopia, registro u otros métodos sin el permiso previo y por escrito de los titulares del Copyright.

Título original de la obra:
Impianti di messa a terra
de Vittorio Re. Editoriale Delfino-Milano

ISBN 84-267-0379-8
Depósito Legal B-44.750-1988
Impreso en España
Printed in Spain
Grafesa - Nápoles, 249 - Barcelona

Presentación

Por más que la evolución tecnológica ponga en el mercado aparatos o dispositivos más o menos elaborados destinados a prevenir la fulguración, una eficiente instalación de tierra sigue siendo uno de los fundamentos de la seguridad.

Su incidencia en el coste global de la instalación depende de la complejidad de la misma. En tanto que su incidencia es relativamente modesta en una central eléctrica o en una estación transformadora, resulta más elevada si se refiere a una simple obra civil. La razón de ello debe buscarse en el coste de máquinas, dispositivos de mando, de medida, de protección y sus correspondientes instalaciones con relación a una instalación constituida, sustancialmente, por materiales sin contenido tecnológico alguno, como pueden ser los electrodos de dispersión y las conexiones de puesta a tierra.

Si las instalaciones eléctricas destinadas a viviendas son, desde el punto de vista económico, el tipo de trabajo menos apetecido por los instaladores, no se debe tan sólo a la relación entre material y mano de obra sino también a la escasa sensibilidad de los constructores y de los propios usuarios hacia los problemas relacionados con la funcionalidad y la seguridad.

El instalador que se dedica a instalaciones industriales encuentra un ambiente más favorable, aunque no sea más que por el temor a que la instalación eléctrica pueda ser sometida a control por parte de funcionarios de la Inspección del Trabajo o del ENPI (*). Si las instalaciones no han sido realizadas de acuerdo con los preceptos contenidos en la legislación relativa a la prevención de accidentes laborales, los responsables de la empresa pueden incurrir en sanciones que no son ni mucho menos desdeñables.

Frente a tal situación, ¿qué actitud debe adoptar un instalador? Es difícil dar un consejo válido. Podemos, simplemente, insistir en el concepto de que no puede existir ninguna instalación, ni siquiera la más sencilla, sin una adecuada puesta a tierra de los aparatos receptores. Esta es la razón por la que hemos tratado de resumir los conceptos fundamentales referentes a las instalaciones de puesta a tierra, a fin de ofrecer un panorama resumido y práctico de un sector de la profesión que ningún instalador puede en modo alguno ignorar.

Vittorio Re

(*) *N. del T.* — ENPI — Ente Nazionale Prevenzione Infortuni — (Ente Nacional para la Prevención de Accidentes). En España corre a cargo del Cuerpo Nacional de Inspección de trabajo.

Indice de materias

SIGNIFICADO E IMPORTANCIA DE LA PUESTA A TIERRA

Funciones de las instalaciones 6
Puesta a tierra para protección 7
Constitución de una instalación de tierra 8

PELIGROSIDAD DE LA CORRIENTE ELECTRICA

Efectos sobre el cuerpo humano 9
Duración del contacto y de la corriente 10
Tipos de contactos accidentales 12
Tensión de tierra, de contacto y de paso 16

NATURALEZA DEL TERRENO

Resistividad 18
Temperatura y humedad 19
Tratamiento del terreno 20

ELECTRODOS

Clasificación 21
Influencia recíproca 22
Valoración orientativa de la resistencia de tierra 24
Materiales y dimensiones 28
Electrodos cilíndricos (picas) 30
Picas cilíndricas de acero cobreado 32
Tubo cilíndrico de acero galvanizado al fuego 34
Tipos de pozos 36
Electrodos en anillo 37
Disposición típica del electrodo en anillo 38
Combinación de electrodos en anillo y picas 39
Electrodos naturales 40
Empleo de la canalización del agua 42

LA RED DE TIERRA Y DE PROTECCION

Definiciones 44
Ejecución de los empalmes 46
Secciones mínimas de los conductores de protección 48

EDIFICIOS CIVILES

Las normas CEI dicen 50
Protecciones contra las tensiones de contacto 51

Coordinación de las protecciones 54
Empalmes a tierra 56
Montantes 57
Conexiones equipotenciales 58
Conexiones en baños y cocinas 59
Conexiones a los conductores de protección 60
Aparatos que no precisan la puesta a tierra 61

INSTALACIONES INDUSTRIALES

Generalidades 62
Electrodos 63
Empleo de interruptores diferenciales 64
Puesta a tierra de máquinas 66
Puesta a tierra de aparamenta 67
Puesta a tierra de máquinas-herramienta y de grandes masas metálicas 68
Puesta a tierra de partes móviles 70
Herramientas portátiles 71
Instalaciones de puesta a tierra en las obras de construcción 72

CABINAS DE TRANSFORMACION

Partes que se deben poner a tierra 74
Unicidad de instalación 75
Esquema de principio de una cabina 76
Electrodos 78
Secciones mínimas de los conductores de tierra 80
Tipos de bornes para la fijación del colector de tierra 81
Sistemas de puesta a tierra 82
Puesta a tierra de máquinas y aparamenta 84
Puesta a tierra de ménsulas y armazones 85

DESCARGADORES

Sección de los conductores de tierra 86

PUESTA A TIERRA DURANTE LA EJECUCION DE TRABAJOS

Normas legislativas 88

COMPROBACIONES Y MEDIDAS

Controles a realizar 90
Métodos y medidas 91
Medida de la resistividad del terreno 94
Medida de la resistencia de la conexión equipotencial en los baños 95
Medida de la impedancia del bucle de defecto 96

SIGNIFICADO E IMPORTANCIA DE LA PUESTA A TIERRA

Funciones de las instalaciones

Es tan grande la masa del globo terráqueo que su potencial se mantiene prácticamente invariable cualquiera que sea la entidad de las cargas que se le apliquen. En esta característica se basa el principio de la puesta a tierra.

Según sean los fines que se pretenda alcanzar se dispone de los tipos de puesta a tierra indicados a continuación.

Puesta a tierra para protección

Significa drenar hacia tierra las corrientes de defecto peligrosas para la integridad física de las personas.

Puesta a tierra para la ejecución de trabajos

Es una puesta a tierra de carácter provisional. Sirve para garantizar la integridad física de aquellos que operan sobre elementos que normalmente se hallan bajo tensión (por ejemplo, líneas eléctricas aéreas), pero que temporalmente están fuera de servicio.

Puesta a tierra de funcionamiento

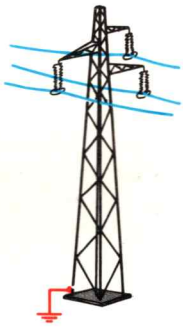
Se refiere al mantenimiento de una parte de un circuito a potencial de tierra. Caen dentro de este apartado la puesta a tierra del conductor de neutro de las redes de distribución de energía eléctrica, la conexión a tierra de las vías del ferrocarril y tranvía en aquellos casos en que éstas constituyen un conductor activo de la red de distribución.

En este manual nos ocuparemos exclusivamente de la puesta a tierra de las instalaciones eléctricas, a efectos de la seguridad, con relación a las personas que tienen acceso a ellas.

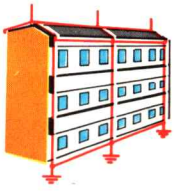
Puesta a tierra para protección

La puesta a tierra se debe extender a todos los receptores y masas metálicas accesibles. A título de ejemplo, citaremos que en las instalaciones en edificios civiles (*) la toma de tierra se relaciona con la envoltura de los aparatos receptores (lavadoras, lavavajillas, refrigeradores, etc.) y con las masas metálicas (grifería, bañeras, cocinas, lámparas, etc.). En dichas partes puede aparecer tensión como consecuencia de una avería o fallo.

Respecto a las fábricas de electricidad (**), o a las instalaciones contenidas en el término genérico de "industriales", la puesta a tierra se relaciona con las carcasas de las máquinas eléctricas rotativas (generadores y motores), las cubas de los transformadores, las envolturas metálicas de los aparatos de mando (interruptores), los soportes de base de los seccionadores y descargadores, las estructuras y los resguardos de protección de las estaciones y cabinas de transformación, las torres para líneas eléctricas de alta tensión, etc. Las razones por las que dichas partes deben ser puestas a tierra son las mismas que en el párrafo precedente.



La puesta a tierra concierne, finalmente, a la protección de los edificios contra las descargas atmosféricas.



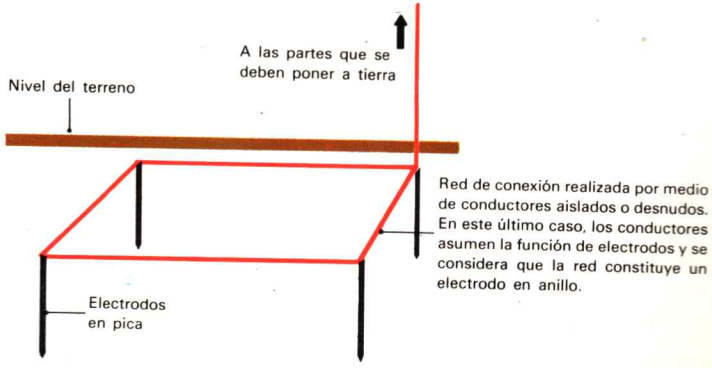
(*) Se entiende por edificios civiles, aquellos destinados a los siguientes usos: viviendas privadas o colectivas (colegios, hoteles, pensiones), oficinas (incluidas las que se encuentran alojadas en edificios industriales), hospitales y sanatorios, tiendas y almacenes, edificios destinados al culto o a actividades sociales (iglesias, círculos recreativos, bares), pequeños talleres de artesanía y construcciones rurales (incluidos los establos).

(**) Se entiende como fábrica de electricidad el conjunto, instalado en locales cerrados o al aire libre, de instalaciones destinadas a la producción, conversión, transformación, regulación y distribución de la energía eléctrica. O sea: centrales eléctricas, subestaciones de transformación y conversión, cabinas eléctricas.

Constitución de una instalación de tierra

Una instalación de puesta a tierra se compone esencialmente de unos electrodos (picas, placas o conductores que se hallan en íntimo contacto con el terreno) y de una red de conductores que los conectan a las partes de la instalación que deben ser puestas a tierra.

La conexión a tierra de las partes metálicas (indicadas en la página precedente) deberá ser tanto más efectiva cuanto mayor sea la posibilidad de que por ella fluyan hacia el terreno eventuales corrientes de defecto, a fin de dispersarlas de manera uniforme y sin originar zonas de concentración que a su vez podrían ser fuente de riesgo para la integridad física de las personas que se hallen próximas a dichas zonas. Además, para evitar que en el propio ámbito de la instalación receptora (*) puedan aparecer tensiones peligrosas entre dos partes que normalmente no están sometidas a tensión pero que pueden estarlo fortuitamente, hay otros elementos que contribuyen a dispersar las corrientes de defecto (el hierro enterrado de los pilares y cimientos, las tuberías metálicas, etc.). Es importante subrayar que estos elementos, aun cuando estén hundidos o enterrados en el suelo no sustituyen en absoluto a la instalación de puesta a tierra. Lo mismo cabe decir de los tubos metálicos de desagüe aún en el caso de que parte de los mismos esté enterrada.



(*) *Instalación receptora:* es una instalación eléctrica que incluye los aparatos receptores (electrodomésticos, motores, aparatos para la iluminación, etc.), incluso en el caso de que se conecten mediante una clavija de toma de corriente, y sus correspondientes circuitos de alimentación. Su inicio se sitúa inmediatamente después de los contadores.

PELIGROSIDAD DE LA CORRIENTE ELECTRICA

Efectos sobre el cuerpo humano

Los efectos de la electricidad en el cuerpo humano dependen de la intensidad de la corriente que lo atraviesa, de la duración del contacto y de la resistencia eléctrica del propio cuerpo. Dicha resistencia varía según las condiciones físicas y síquicas del sujeto (se dan valores particularmente bajos en las mujeres encintas, en presencia de alcohol en la sangre, en conexión con estados depresivos o de preocupación en general) y el estado de la epidermis (seca o mojada). La *resistencia media* del cuerpo humano se estima, convencionalmente, en 3000 Ω siendo, por cuanto acabamos de decir, un dato extremadamente variable.

Efectos de la corriente eléctrica en el cuerpo humano

Corriente que atraviesa el cuerpo humano (mA)	Efectos
hasta **1**	imperceptible para el hombre
2 a 3	sensación de hormigueo
3 a 10	el sujeto consigue, generalmente, desprenderse del contacto (liberación). De todas formas, la corriente no es mortal.
10 a 50	la corriente no es mortal si se aplica durante intervalos decrecientes a medida que aumenta su intensidad (ver la curva de la página 11), de lo contrario, los músculos de la respiración se ven afectados por calambres que pueden provocar la muerte por asfixia.
50 a 500	corriente decididamente peligrosa, en función creciente con la duración del contacto, que da lugar a la fibrilación cardiaca (funcionamiento irregular con contracciones muy frecuentes e ineficaces). Posible defunción del infortunado.
más de **500**	decrece la posibilidad de fibrilación pero aumenta el riesgo de muerte por parálisis de los centros nerviosos o a causa de fenómenos secundarios.

Duración del contacto y de la corriente

La *fulguración* (*) depende no sólo de la tensión aplicada al cuerpo humano, y por consiguiente de la corriente que lo atraviesa en función de su resistencia (piel mojada, húmeda o seca, empleo de calzado aislado en mayor o menor grado), sino también de la duración del contacto (**).

Cuanto más rápidamente logre desprenderse quien haya entrado en contacto con elementos que se hallen bajo tensión o cuanto más prontamente intervengan los dispositivos de protección (interruptores automáticos o fusibles), tanto menor será el riesgo de fulguración.

Cuando el sujeto no alcanza a desprenderse del contacto, ello es debido a fenómenos de "tetanización", o sea, contracciones de los músculos de las articulaciones, particularmente de las manos que, sin embargo, se pueden extender a los músculos del tronco, de la nuca o del rostro. El Grupo médico de la UNIPEDE (Unión Internacional de los Productores y Distribuidores de Energía Eléctrica) ha llevado a cabo estudios a fin de determinar la curva de la "peligrosidad de la corriente eléctrica". Dicha curva está basada en una ecuación en la que se considera la corriente de desprendimiento (o sea, la intensidad que permite que el sujeto se desprenda espontáneamente de las partes sometidas a tensión) y la duración del contacto (***). Los fabricantes de interruptores diferenciales definen los tiempos y umbrales de intervención de sus aparatos con relación a dicha curva.

(*) *Fulguración:* producción de lesiones en el cuerpo humano, debidas a descargas eléctricas (quemaduras, calambres, fibrilación cardiaca). Se emplea también el término "electrocución".

(**) En rigor, también tiene importancia la frecuencia (número de periodos por segundo) de la corriente. La frecuencia "industrial" (50 periodos por segundo, o sea 50 hercios) es más peligrosa que las frecuencias altas y altísimas, mejor soportadas por el hombre.

(***) La fórmula empleada como base para trazar la curva de peligrosidad es la siguiente:

$$I = I_r + \frac{10}{t}$$

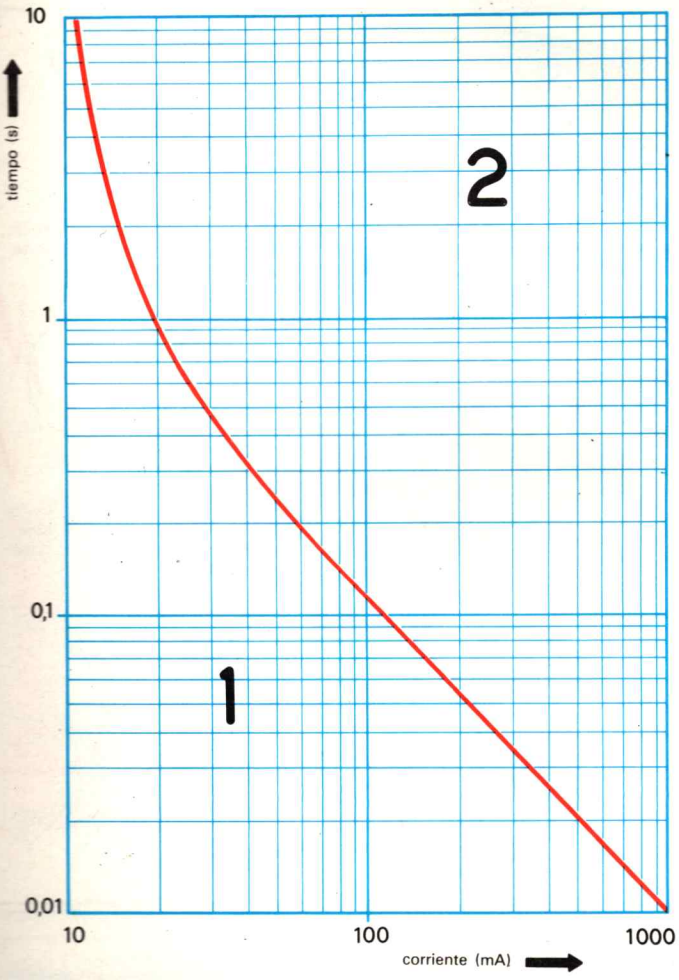
donde:

I - corriente (miliamperios);

I_r - corriente de desprendimiento (miliamperios), distinta para hombres, mujeres y niños (la curva de la página 11 se ha trazado considerando $I_r = 10$mA);

t - tiempo (segundos).

Curva de peligrosidad

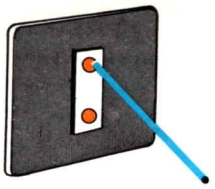


1-Zona estadísticamente no peligrosa para la integridad física de las personas.
2-Zona peligrosa: siguiendo la variación de la curva desde arriba hacia abajo se pasa del peligro de tetanización al de asfixia y luego a la fibrilación cardiaca.

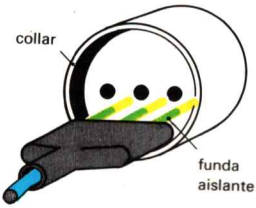
Tipos de contactos accidentales

Contactos directos (con partes que normalmente se encuentran bajo tensión)

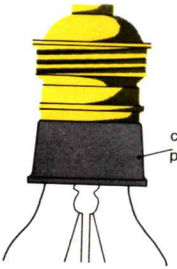
admitido



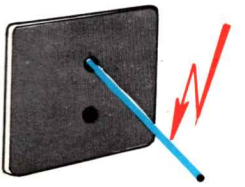
Utilizar tomas de corriente provistas de diafragma aislante para la protección de los alveolos.



Utilizar tomas de corriente con collar de protección.

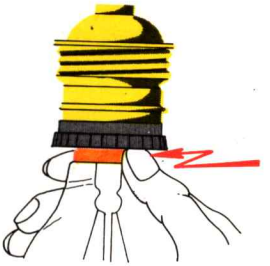


prohibido



Utilizar tomas de corriente que permitan el acceso a los alveolos por medio de objetos metálicos.

Utilizar tomas de corriente que admitan la introducción de una sola espiga de la clavija.

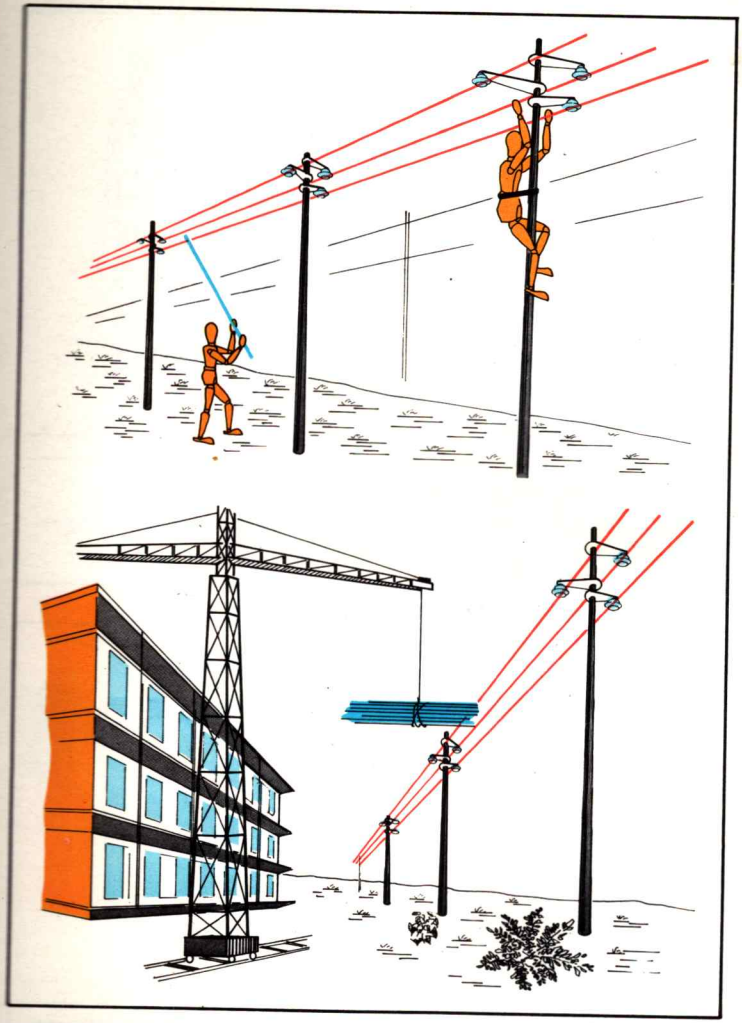


Medidas de protección que pueden adoptarse

De tipo pasivo: inaccesibilidad de las partes bajo tensión, empleo de utensilios o tapas aislantes así como de otros dispositivos de protección (guantes, botas, etc.)

De tipo activo: interruptores diferenciales de alta sensibilidad.

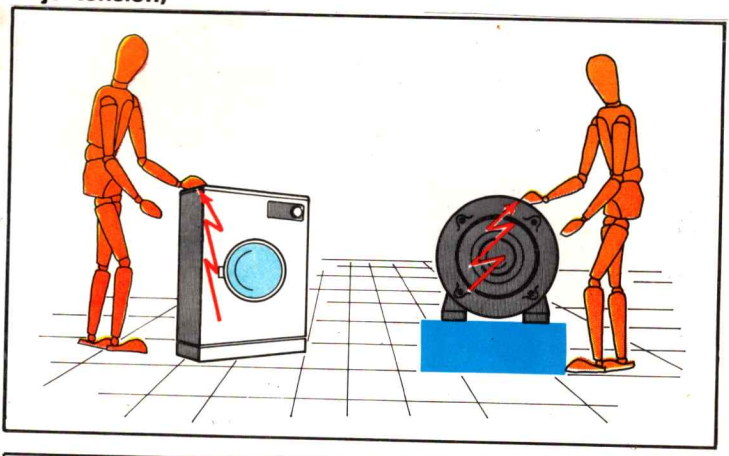
Continuación contactos directos



Medidas de protección que pueden adoptarse

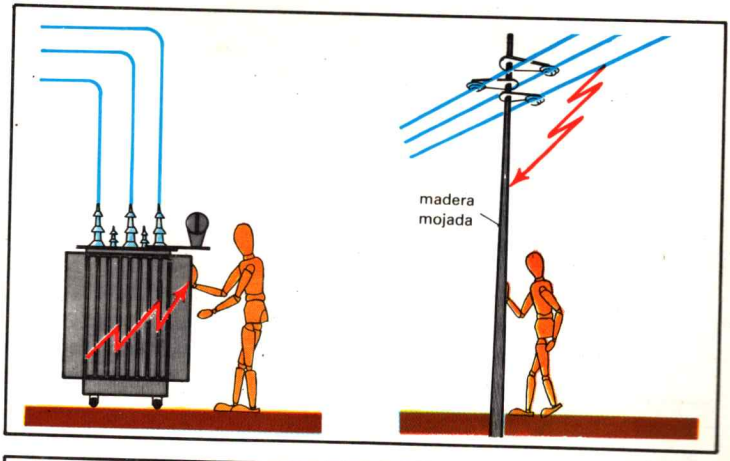
El accidente se puede evitar solamente con la observación de las normas relativas a la prevención de accidentes (desconectar la tensión, mantener distancias de seguridad, poner la línea a tierra, etc.).

Contactos indirectos (con partes que normalmente no están bajo tensión)



Medidas de protección que pueden adoptarse

Puesta a tierra combinada con dispositivos de intervención a máxima corriente o diferenciales.

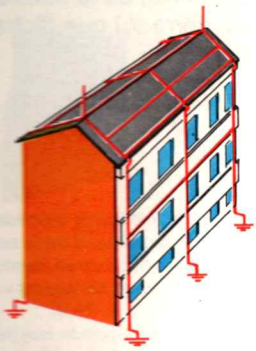


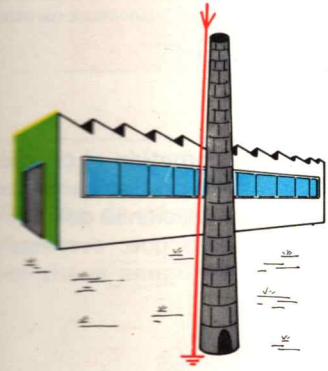
Medidas de protección que pueden adoptarse

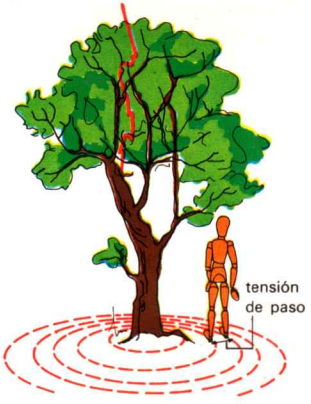
Puesta a tierra.

No hay protección posible.

Descargas atmosféricas







Medidas de protección que pueden adoptarse

Instalación de pararrayos.
En ocasiones se utiliza la protección contra los rayos en árboles, particularmente cuando éstos son ejemplares notables o de valor histórico, y también cuando son muy altos y se hallan en la proximidad de viviendas.

Tensión de tierra, de contacto y de paso

Tensión total de tierra (V_t)

Es el producto de la resistencia de tierra (R_t) de la instalación objeto de análisis, por la corriente de tierra (I_t) que dicha instalación está destinada a dispersar.

$$V_t = R_t \cdot I_t$$

Ejemplo

Supongamos que la instalación se halle protegida por un interruptor automático de 10 A (corriente nominal) y que la resistencia de la línea de puesta a tierra sea de 5 ohmios. Si en un electrodoméstico se produce un contacto hacia masa, dando lugar a una corriente de 15 A (debido a que el contacto entre el punto de defecto y la carcasa no es "franco"), la tensión hacia tierra será de 15 x 5 = 75 V.
Tensión que puede ser ya peligrosa, sobre todo si se tiene en cuenta que los relés térmicos del interruptor automático no intervienen hasta transcurrida una hora cuando la corriente de sobrecarga se halla comprendida entre 1,3 y 1,4 veces la corriente nominal; aumentando la importancia de la sobrecarga disminuye el tiempo necesario para provocar el disparo del interruptor.
Si, en cambio, la corriente derivada a tierra es muy superior a la intensidad nominal del interruptor (pongamos unas 10 veces, o sea, 100 A), la tensión hacia tierra será: 100 x 5 = 500 V. Ahora bien, en este caso intervienen los relés magnéticos del interruptor que abren el circuito en cuestión de milisegundos.

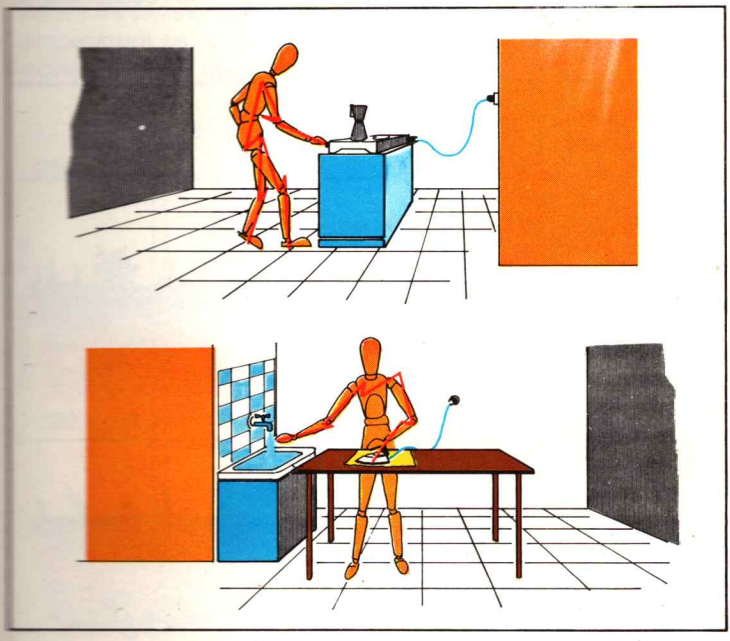
Tensión de contacto (V_c)

Es aquella tensión a la que puede verse sometido el cuerpo humano como consecuencia de un contacto con las carcasas y estructuras metálicas de máquinas e instalaciones que normalmente no se hallan bajo tensión, pero que, eventualmente, pueden estarlo a consecuencia de alguna avería interna.

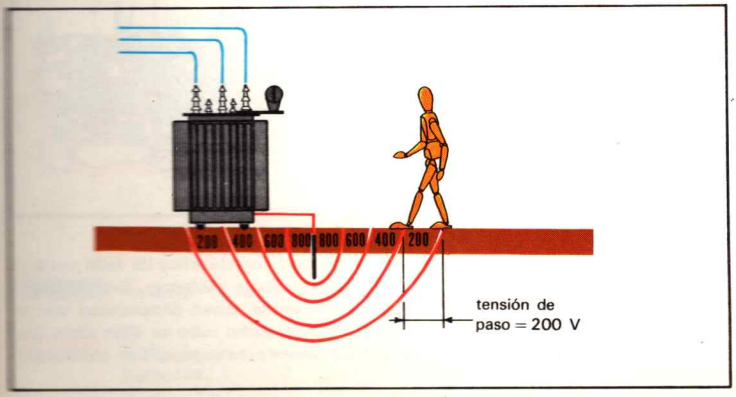
Tensión de paso (V_p)

Es la tensión que, durante el funcionamiento de una instalación de tierra, puede resultar aplicada entre los pies de una persona situados a la distancia de un paso (1 metro).
La protección contra las tensiones de paso concierne en particular a las instalaciones de media y alta tensión.

Tensión de contacto

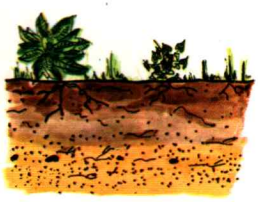
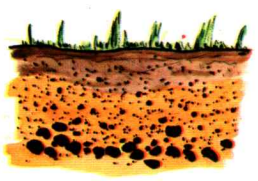
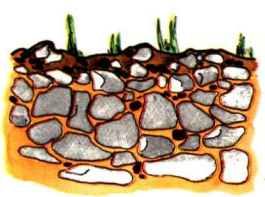


Tensión de paso



Resistividad

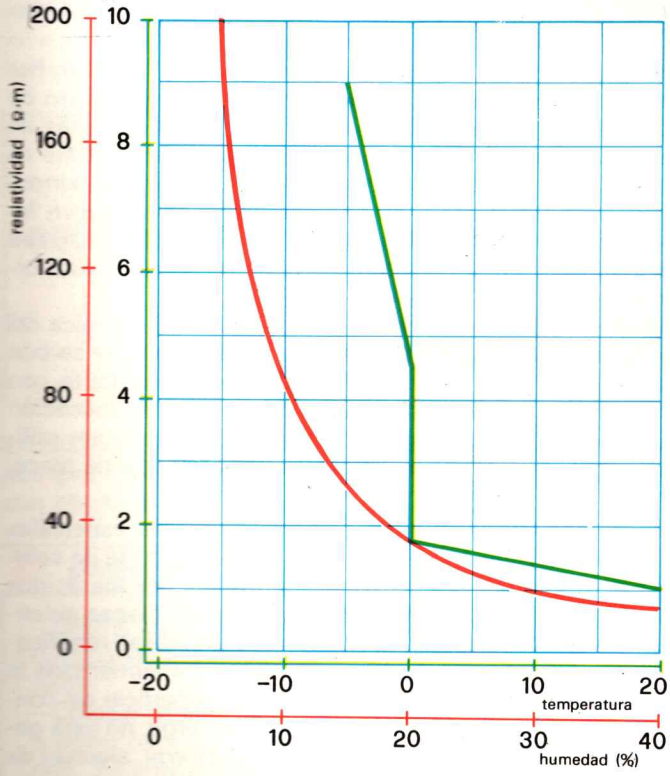
Cuanto menor sea la resistividad del terreno, tanto más fácilmente se pueden alcanzar valores bajos para la resistencia de la instalación de tierra.

Resistividad* ohmios·metro	Tipo de terreno	Ejemplo
10 a 100	Terreno orgánico húmedo	
100 a 200	Terreno orgánico, pero no húmedo	
400 a 800	Terreno guijoso	
1000 ó más	Terreno rocoso	

(*) *Resistividad (o resistencia específica):* magnitud característica de toda materia que expresa su aptitud para la conducción de corrientes eléctricas. Representa la resistencia de una muestra de la materia considerada, cuyas dimensiones son la unidad, por ejemplo, un cubo de un metro de lado; dicho cubo se sitúa entre dos placas y se mide su resistencia que, consecuentemente, se expresará en ohmios por metro (Ω · m).

Temperatura y humedad

La resistividad del terreno varía con la temperatura y el grado de humedad. Por lo tanto, no es aconsejable efectuar mediciones de la resistencia de la instalación de tierra cuando la temperatura es excesivamente alta o cuando el terreno está impregnado de agua debido a lluvias recientes.



Variación de la resistividad del terreno en función de la temperatura.

Variación de la resistividad del terreno en función del porcentaje de humedad.

Tratamiento del terreno

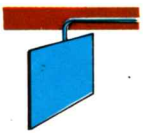
Los terrenos de aluvión (formados por depósito de materias transportadas por ríos desbordados) ofrecen las mejores condiciones para la realización de instalaciones de tierra de muy baja resistencia. Su "humus" (parte del terreno que contiene diversas substancias orgánicas en descomposición) es, generalmente, poco profundo.
Las zonas ricas en vegetación o que acarrean aguas pluviales o residuales son asimismo apropiadas dada la elevada humedad del terreno.

Existen métodos para reducir la resistividad del terreno. Por ejemplo, se puede recurrir a las sales minerales (cloruro de sodio, sulfato de magnesio, y sulfato de cobre) disueltas en agua y vertidas sobre el terreno o en el electrodo si éste es tubular. Sin embargo, los resultados no siempre se corresponden con lo previsto y en algunos casos se producen fenómenos de corrosión. Es mucho mejor, siempre que ello sea posible, hacer uso de un terreno que tenga un contenido orgánico.
Siguiendo con la idea de modificar la naturaleza química del terreno, se puede recurrir a la colocación de capas de carbón (o grafito en polvo) situadas directamente en contacto con los electrodos. Este procedimiento, de difícil aplicación cuando los electrodos tienen forma de pica, puede ser utilizado siempre que se recurra a electrodos en forma de placa, anillo o malla.

En los comercios se pueden adquirir productos especiales para rociar el terreno inmediato al electrodo. Se trata de soluciones que originan precipitados inatacables por los ácidos del terreno, y que dan lugar a la formación de masas gelatinosas que se desparraman produciendo numerosas ramificaciones de agua. De esta forma, no sólo resulta aumentada la conductividad del terreno sino también la superficie de contacto entre el electrodo y el terreno. Sin embargo, no está garantizada su duración en el tiempo; por otra parte, algunas de estas soluciones contienen productos tóxicos cuya manipulación exige cautela.

Clasificación

Con el término "electrodo" entendemos un cuerpo metálico puesto en íntimo contacto con el terreno y destinado a dispersar en el mismo las corrientes eléctricas. Puede estar constituido por un solo elemento o por diversos elementos conectados entre sí mediante conductores enterrados y no aislados del terreno.
Según las características del terreno (mayor o menor posibilidad de hundir profundamente los cuerpos metálicos puestos en íntimo contacto con el mismo) se dispone de los siguientes tipos de electrodos:

pica	placa (*)	anillo	malla
			

En algunos casos se combinan entre sí los tipos arriba indicados (por ejemplo: electrodo en anillo o malla complementado con electrodos en pica).

prohibido

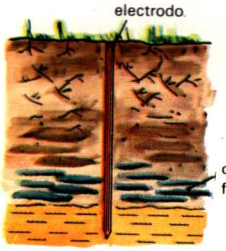
—Utilizar como electrodos de tierra tuberías metálicas destinadas a gas, aire comprimido, agua caliente y similares.
—Colocar placas u otros elementos conductores con función de electrodos de tierra en las aguas de lagos, ríos, torrentes, acequias o en el mar (**).

(*) Poco utilizado.

(**) Si, debido a las circunstancias, ello resultara necesario, sitúense los electrodos a una profundidad no menor de 5 metros bajo el nivel del agua. Sin embargo, será necesario prohibir el acceso a dicha zona ya que ello podría resultar peligroso. Téngase en cuenta además, la posibilidad de que se produzcan fenómenos de corrosión: es aconsejable, por lo tanto, efectuar frecuentes controles.

Influencia recíproca

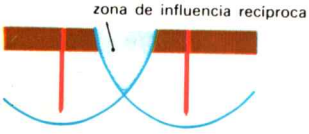
1 - La resistencia de tierra de una pica depende mucho más de su longitud (profundidad de penetración) que de las dimensiones transversales. Si se alcanza la capa freática (capa de agua) la resistencia de tierra disminuye sensiblemente.



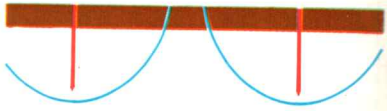
A igualdad de características del terreno, se obtiene la misma resistencia de tierra con un electrodo horizontal de longitud 3 o 4 veces mayor.

Para los electrodos en forma de placa, la resistencia de tierra depende de sus dimensiones; en electrodos en anillo, de su perímetro; para electrodos en forma de malla, de la longitud total de los conductores que la forman.

2 - No es posible obtener valores bajos de resistencia de tierra sólo con aumentar el número de picas y sin tener en cuenta sus respectivas áreas de influencia (*).



Electrodos demasiado próximos

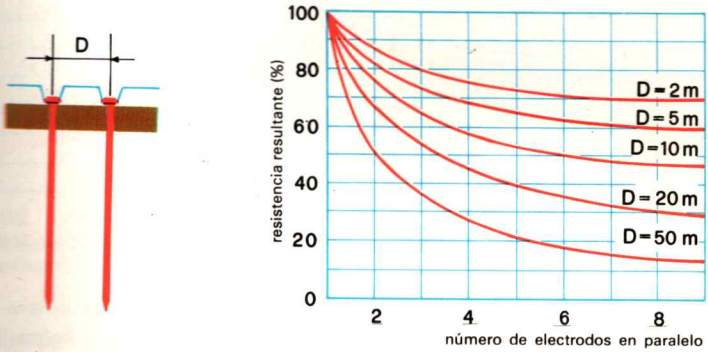


Electrodos oportunamente distanciados

(*) A título orientativo podemos considerar que dos picas de distinta longitud no se influyen recíprocamente cuando la distancia que las separa es por lo menos, igual a unas 5 veces la longitud de la pica mayor. La independencia de los electrodos es condición fundamental para el cálculo en paralelo de sus respectivas resistencias de tierra.

El mismo concepto es válido para los electrodos de placa. En los electrodos en anillo no proporciona ninguna mejora la colocación de dos conductores muy juntos (por ejemplo, en la misma zanja); es preferible tratar de realizar una malla o bien un doble anillo.

Los diagramas ilustran los conceptos expuestos en el punto 2 de la página precedente. Se han considerado constantes las características del terreno, con independencia de la separación entre electrodos, así como iguales las dimensiones de éstos.
Los porcentajes de variación están referidos a la resistencia de tierra del primer electrodo. Téngase en cuenta, de todos modos, que a partir de un determinado número de electrodos dejan de obtenerse resultados económicamente apreciables.



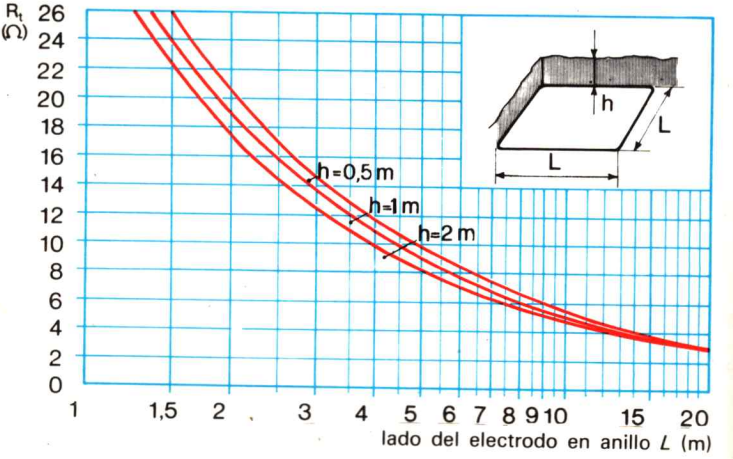
Porcentaje de variación de la resistencia de tierra resultante, con relación al número de electrodos y a la separación entre ellos. Fácilmente se puede comprobar que colocando dos electrodos en paralelo, el porcentaje de la resistencia de tierra baja aproximadamente a la mitad si aquéllos se colocan a una distancia de 50 metros entre sí pero, en cambio, disminuye poco si sólo les separa una distancia de dos metros.

3 - Para conectar en paralelo electrodos en pica o placas, empléese trenza de cobre o de acero galvanizado o cobreado, con un diámetro no inferior a los que se indican en la página 28. Dicha trenza, o cable, se enterrará en el suelo a una profundidad de 50 cm, por lo menos, a fin de que no pueda resultar dañada a consecuencia de eventuales esfuerzos mecánicos (paso de camiones, etc.) y para reducir la tensión de paso en la superficie.

Valoración orientativa de la resistencia de tierra

Las curvas que aquí se ofrecen se han trazado en base a una resistividad del terreno del orden de los 100 Ω · m. Si la resistividad fuera diferente (ρ_t) téngase en cuenta el coeficiente $k = \rho_t / 100$.

Diagrama 1: *electrodo en anillo cuadrado, realizado con cable de 35 mm², enterrado a 0,5, 1, 2 metros.*



Utilizando cables de distinta sección se obtienen variaciones despreciables en la resistencia de tierra.

Ejemplos referidos al diagrama 1

1 - Si la resistencia de tierra (R_t) que se desea obtener es de 19 ohmios, se deduce del diagrama que el lado de la malla debe medir 2 metros, siempre y cuando el cable se coloque a 1 metro de profundidad y la resistividad del terreno sea de 100 Ω · m.

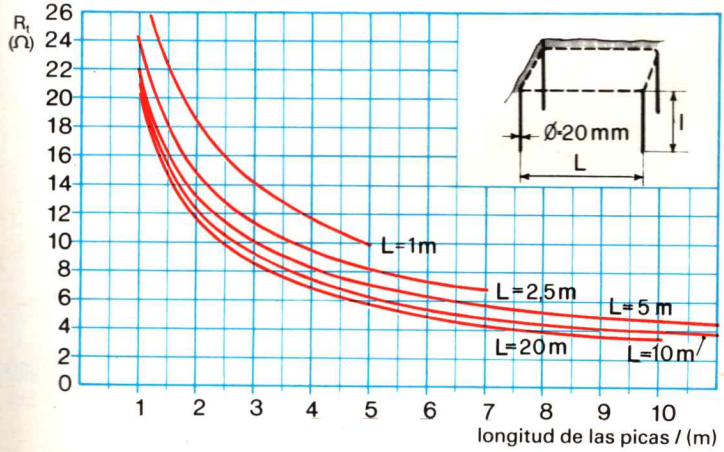
2 - Admitiendo que la resistividad del terreno sea $\rho_t = 400$ Ω · m y que se pretende igualmente obtener 19 Ω con un cable enterrado como antes se ha indicado (1 metro), opérese de la siguiente manera:

$$k = \frac{\rho_t}{100} = \frac{400}{100} = 4 \qquad \frac{R_t}{k} = \frac{19}{4} \simeq 4{,}75$$

de este último resultado (aplicado al eje de ordenadas) se deduce que el lado de la malla deberá ser de unos 10 m.

3 - Un cable de cobre de 35 mm², enterrado a 2 m de profundidad, está dispuesto de modo que forme un cuadro (o un rectángulo de perímetro equivalente) de 20 m de lado. Mediante el gráfico se obtiene $R_t = 2{,}7\ \Omega$. En el caso de que ρ_t sea 200 Ω · m, tendremos: $R_t = k \cdot 2{,}7 = 200/100 \cdot 2{,}7 = 5{,}4\ \Omega$.

Diagrama 2: *grupo de cuatro picas, conectadas entre sí mediante un conductor aislado.*



Utilizando picas de diferente diámetro se obtienen variaciones despreciables en la resistencia de tierra.

Ejemplos referidos al diagrama 2

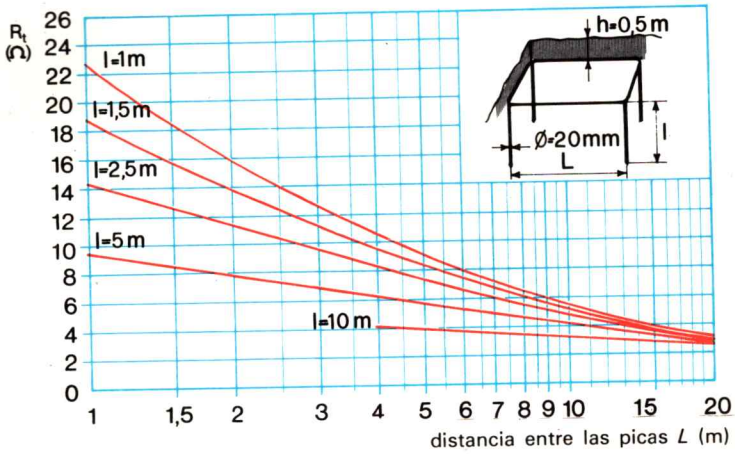
1 - Con cuatro picas situadas en los ángulos de una construcción (casa, industria o cabina) de planta cuadrada y 10 m de lado (o rectangular con un perímetro equivalente) clavadas a 5 m de profundidad en un terreno cuya resistividad es de 100 Ω · m y conectadas con cable aislado de 16 mm² (por lo tanto, no evaluable a los efectos de la resistencia de tierra), se tendrá: $R_t \simeq 6{,}2$ ohmios.

2 - Admitiendo que la resistividad del terreno sea de 200 Ω·m y se pretenda obtener una resistencia de tierra de 18 Ω con cuatro picas situadas a 10 m de distancia entre sí, tendremos:

$$k = \frac{\varrho_t}{100} = \frac{200}{100} = 2 \qquad \frac{R_t}{k} = \frac{18}{2} = 9$$

Localícese este valor en el eje de ordenadas y utilizando la curva correspondiente a una separación entre picas L = 10 m, se leerá en el eje de abscisas la profundidad a que deberán clavarse, o sea, unos 3,3 metros.

Diagrama 3: *electrodo en anillo cuadrado, realizado con cable desnudo de 35 mm², enterrado a 0,5 m, complementado con cuatro picas situadas en los vértices.*



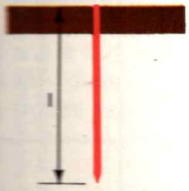
Utilizando diferentes secciones para el cable y picas cuyo diámetro esté comprendido entre 40 y 60 mm, se obtiene una disminución de la resistencia de tierra, aunque de orden relativamente moderado. Lo mismo se puede decir respecto a enterrar el cable a diferente profundidad.

Ejemplos referidos al diagrama 3

1 - Una instalación de tierra está formada por un cable desnudo de cobre de 35 mm², enterrado a 0,5 m y dispuesto de modo que forme un cuadrado de 10 m de lado. Dicho cuadrado se complementa con cuatro picas situadas en los vértices y enterradas a 5 m. Cable y picas forman, por lo tanto, un conjunto único de tierra, cuya resistencia será, aproximadamente, de 4,2 ohmios, siempre y cuando la resistividad del terreno sea de 100 Ω · m. De ser distinta, procédase como se ha indicado para el diagrama 1.

2 - Teniendo que llevar a cabo una instalación de tierra, el valor de cuya resistencia ha sido preestablecido, localícese dicho valor en el eje de ordenadas y, utilizando la curva adecuada, léase en el eje de abscisas la longitud que corresponde al lado del anillo.

Se puede efectuar una evaluación más rápida de la resistencia de tierra (R_t) con ayuda de las sencillas fórmulas que figuran a continuación. También éstas se basan en el supuesto de que la resistividad del terreno (ρ_t) es conocida; el método para la medida de ésta se indica en la página 94.
La aplicación de las fórmulas así como también el empleo de los diagramas que figuran en las páginas precedentes, parte del supuesto de que la resistividad del terreno sea homogénea en toda el área donde deberá realizarse la instalación de tierra. De no ser así, habrá que efectuar numerosas medidas de resistividad y extraer la media.

Tipo de electrodo		
pica	anillo enterrado	malla
		
l = profundidad de penetración (en metros)	P = perímetro (en metros)	L = suma de todos los lados que componen la malla (en metros)
$R_t \simeq \frac{\rho_t}{l}$	$R_t \simeq \frac{2\,\rho_t}{P}$	$R_t \simeq \frac{\rho_t}{L}$

Téngase siempre en cuenta la influencia recíproca entre electrodos, según se ha indicado ya en la pág. 22, aunque sea limitándose a los electrodos de pica. El concepto es, desde luego, extensible a cualquier tipo de electrodo, lo que por otra parte, ha sido ya precisado en las páginas precedentes.

Materiales y dimensiones

Es aconsejable utilizar como electrodos de tierra los materiales indicados en la siguiente tabla.

Electrodo		Acero galvanizado	Cobre	Acero cobreado
Alambre		Ø 10 *(78)* Ø 12 *(113)*	Ø 7,5 *(45)* Ø 9 *(63)* Ø 10 *(78)*	Ø 8,42 *(55)* Ø 11,24 *(99)*
Cable		Ø 7,5 = 7 × 2,52 *(35)* Ø10,5 = 19 × 2,10 *(66)*	Ø 7,5 = 7 × 2,52 *(35)* Ø10,5 = 19 × 2,10 *(66)*	Ø 8 = 7 × 2,58 *(36)* Ø 10 = 19 × 2,05 *(63)* Ø 13 = 19 × 2,58 *(100)*
Pletina		40 × 3 ÷ 4 *(120-160)*	40 × 3 ÷ 4 *(120-160)* 50 × 4 *(200)*	
Picas	Tubo	Ø 48 × 5 Ø 60,8 × 5,9		
	Varillas	*L* 50 × 50 × 5 *T* 50 × 50 × 6		
	Perfil redondo			Ø 9 ÷ 25

– las dimensiones están expresadas en milímetros;
– los números en cursiva, entre paréntesis, indican las secciones (expresadas en milímetros cuadrados);
– para los cables, además del diámetro circunscrito, se indica también la composición, o sea, el número de hilos y su correspondiente diámetro (ejemplo: 7 × 2,52 = 7 hilos de 2,52 mm de diámetro).

prohibido

—Utilizar alambres y cables de diámetro inferior a 7,5 mm.

—Utilizar cables formados por hilos cuyo diámetro sea inferior a 1,8 mm.

—Utilizar tubos que tengan un diámetro exterior inferior a 40 mm y un grueso de pared inferior a 2,5 mm.

—Utilizar perfiles de menos de 5 mm de grueso y con dimensiones transversales inferiores a 50 mm.

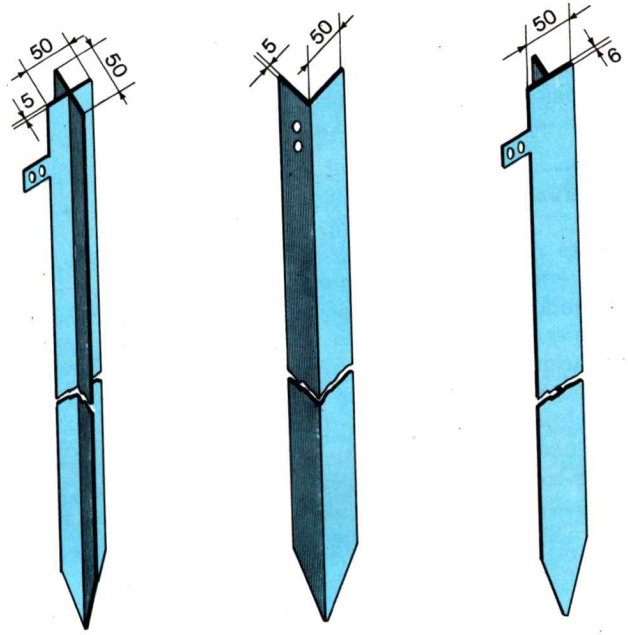
advertencias

—Si se recurre al empleo de materiales ferrosos dese preferencia a los tipos galvanizados en baño caliente o cobreados. Si no se dispusiera de este tipo de material, habrá que aumentar en un 50 % los espesores mínimos indicados más arriba.

—Evítese la colocación de electrodos en terrenos sujetos a hundimientos o corrimientos de tierra (fenómeno de "desmoronamiento", o sea, acción de la lluvia y de aguas torrenciales que arrastran la tierra).

Electrodos en ángulo (picas)

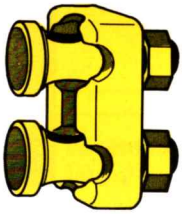
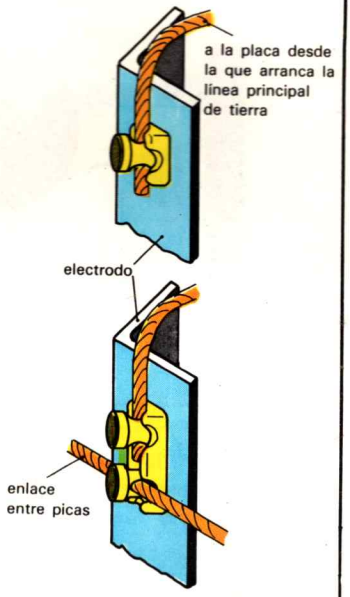
Perfiles de acero galvanizado en baño caliente

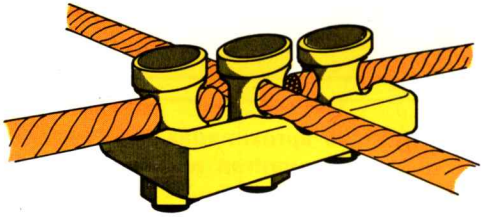


Longitudes aproximadas (en metros) que se encuentran en el mercado

+	L	T
1,00	1,00	1,00
1,50	1,50	1,50
2,00	2,00	2,00
3,00	3,00	3,00
4,00	4,00	4,00

Accesorios

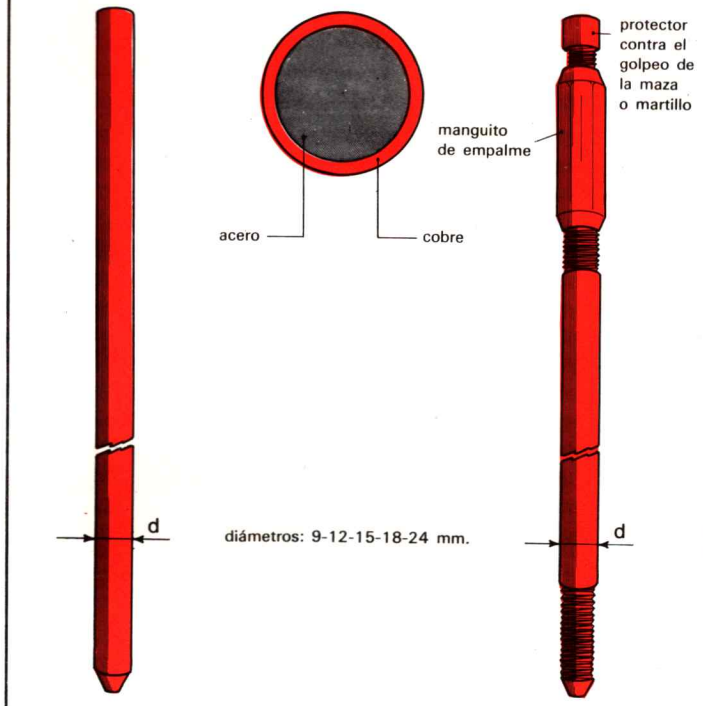
Bornes terminales entre electrodo y línea de enlace con tierra	Forma de aplicación en el electrodo
	

Borne triple para derivaciones


Los bornes que se ilustran más arriba se muestran a título de ejemplo. Desde luego, existen en el mercado otros muchos tipos aptos para desempeñar las mismas funciones.

Picas cilíndricas de acero cobreado

Espiga simple	Espiga con extremos roscados



Longitudes aproximadas (en metros) que se encuentran en el mercado	
1,50 2,00 2,50	1,50 2,00 2,50 3,00

Accesorios

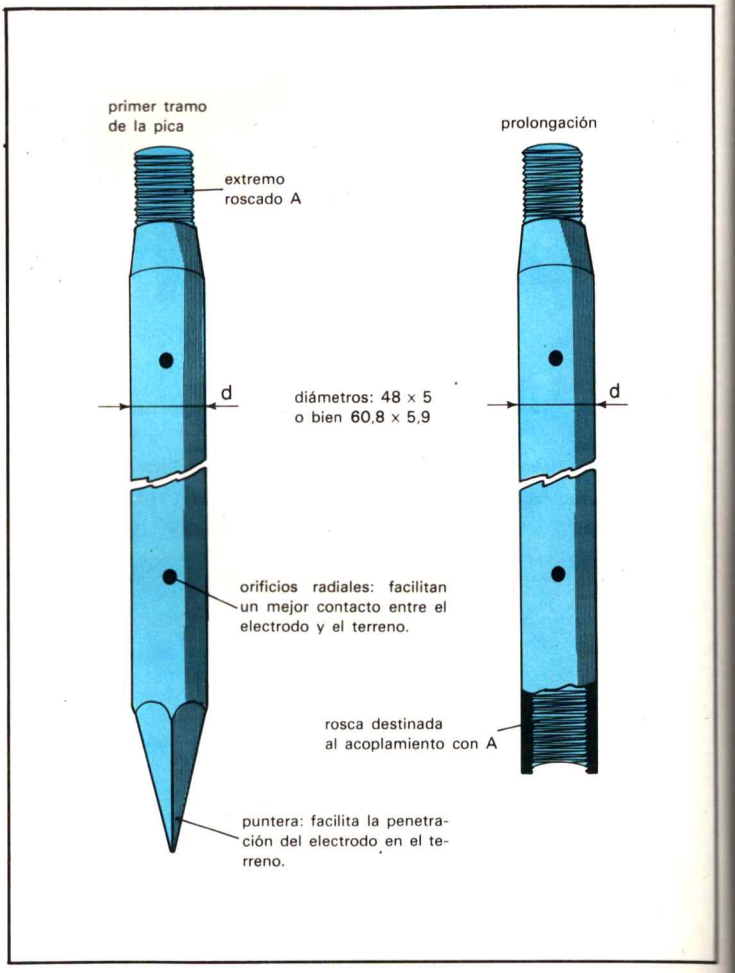
Borne simple	Borne doble

Manguito de empalme (de latón)	Puntera (de acero templado) para enroscar en el extremo

Aparte de los accesorios indicados más arriba, se encuentran en el comercio otros tipos igualmente aptos para realizar las mismas funciones.

Tubo cilíndrico de acero galvanizado al fuego

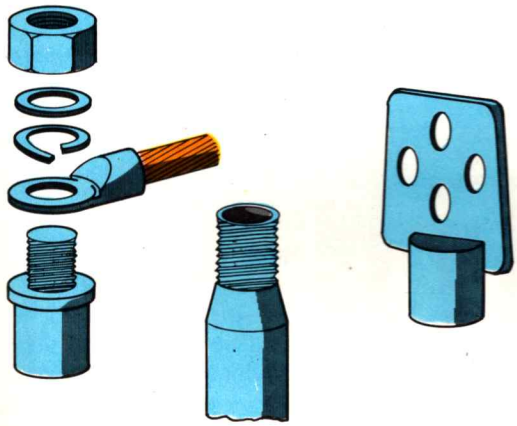
Este tipo de electrodo es empleado sobre todo cuando se deben realizar instalaciones de tierra particularmente comprometidas.



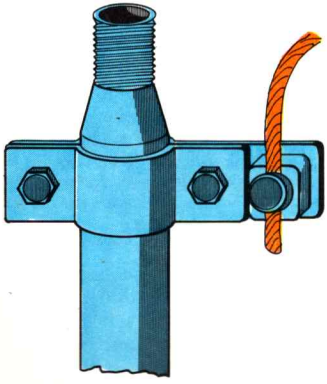
Longitud comercial de cada elemento: 1,5 m.

Accesorios

Manguito o casquillo
(para enroscar en el extremo superior del tubo)

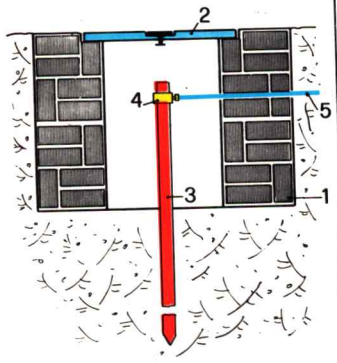
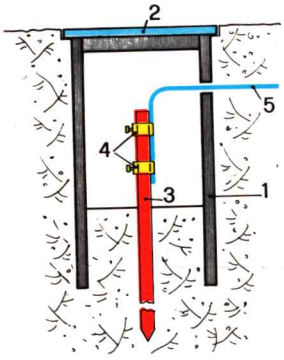


Borne en forma de collar



Tipos de pozos

Es útil el empleo de pozos cuando se requiere tener acceso al electrodo para efectuar controles y mediciones. Ello es particularmente válido para las instalaciones de puesta a tierra que entran en el ámbito de las disposiciones legales para la prevención de los accidentes laborales.

Pozo de ladrillo	Pozo cilíndrico de hormigón (5-6 cm de espesor)
	

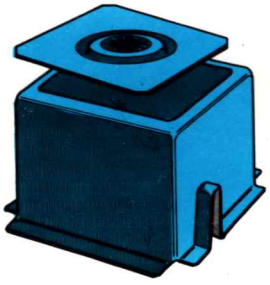
1 - Pozo

2 - Tapa de hormigón o hierro (evítese este último material siempre que sea posible).

3 - Electrodo en forma de pica o tubular. Puede igualmente ser la derivación de un electrodo en malla.

4 - Bornes

5 - Cables de cobre o de acero galvanizado.



Existen en el mercado diversos tipos de pozos prefabricados (de aleación ferrosa o de material aislante).

Ejemplo de pozo hecho de fundición de acero o hierro colado con revestimiento aislante de material plástico polivinílico. En la tapa aparece la inscripción: "Toma de tierra - Peligro" o la contraseña de tierra.

Dimensiones comerciales: 250 x 250 x 200 milímetros.

Electrodos en anillo

Con ellos es más fácil la obtención de bajas resistencias de tierra.

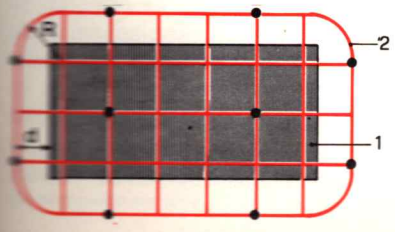
Colóquese un conductor desnudo en el fondo de la excavación, bordeando exteriormente los cimientos del edificio, o bien, cuando ello no sea posible, a una profundidad de 0,50 m respecto de la superficie original del terreno (antes de completar el relleno). De este modo se forma un anillo de perímetro igual o superior al de la edificación, puesto en el más íntimo contacto posible con el terreno. Como conducto empléese alambre, cable o pletina de acero galvanizado en baño caliente, de cobre o de acero cobreado (*).

Al rellenar la excavación, échese sobre el anillo, *apisonándola a fondo,* una primera capa de terreno de baja resistividad (tierra, humus, limo, etc.). Es desaconsejable la colocación de grava y guijarros.

La instalación de tierra debe extenderse a todas las dependencias del edificio que se alimenten con energía eléctrica (conserjerías, garajes, establos, depósitos, etc.)

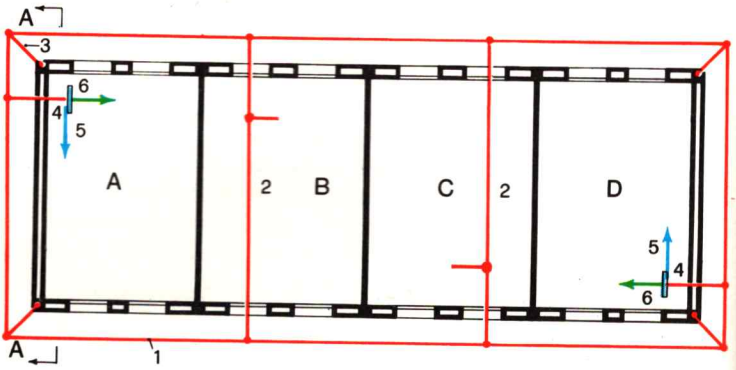
Para cada edificio se preverá un electrodo en anillo. Cuando en la misma excavación para cimientos se levanten diversos edificios es conveniente conectar entre sí los diferentes anillos empleando los mismos materiales que se hayan utilizado en su construcción (alambre, cable, pletina; véase la tabla de la página 28). Sin embargo, también se puede colocar un único electrodo en anillo siguiendo el perímetro exterior de la excavación (prevéanse uno o más puntos de conexión para cada edificio).

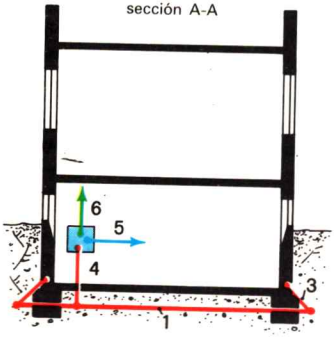
(*) En este mismo criterio se basan los electrodos de malla, utilizados preferentemente bajo las estaciones y cabinas eléctricas a fin de mantener la tensión de contacto dentro de los límites admitidos. La malla debe complementarse, en los nudos y a lo largo de su perímetro, con picas clavadas profundamente a fin de reducir las tensiones de paso. La malla debe extenderse, por lo menos, 1 metro más allá del perímetro de la edificación.



1 - Construcción (por ejemplo: cabina)
2 - Malla
R - Radio: lo más amplio posible a fin de reducir las tensiones de paso periféricas.
d - Distancia ≥ 1 m
● - Picas profundas.

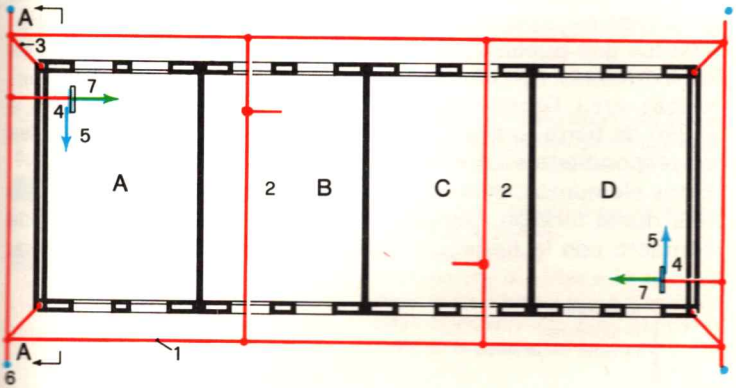
Disposición típica del electrodo en anillo

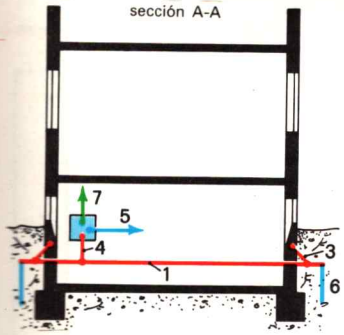




A-B-C-D - indicaciones generales fijas de las viviendas.
1 — Electrodo en anillo colocado en el fondo de la zanja, o bien a una profundidad mínima de 0,5 m por debajo de la superficie del terreno (antes de volver a llenar por completo). Como conductor se puede emplear alambre, cable o pletina. Para el material se puede escoger: cobre, acero galvanizado fuerte o cobreado.
2 - Empalmes entre eventuales conexiones de tierra y electrodo en anillo.
3 - Empalmes de las armazones metálicas de los cimientos y de los andamios.
4 - Conexión de tierra (ver página 57).
5 - Empalme con los electrodos naturales (ver página 40).
6 - Montante para la toma de tierra de los usuarios.

Combinación de electrodos en anillo y picas





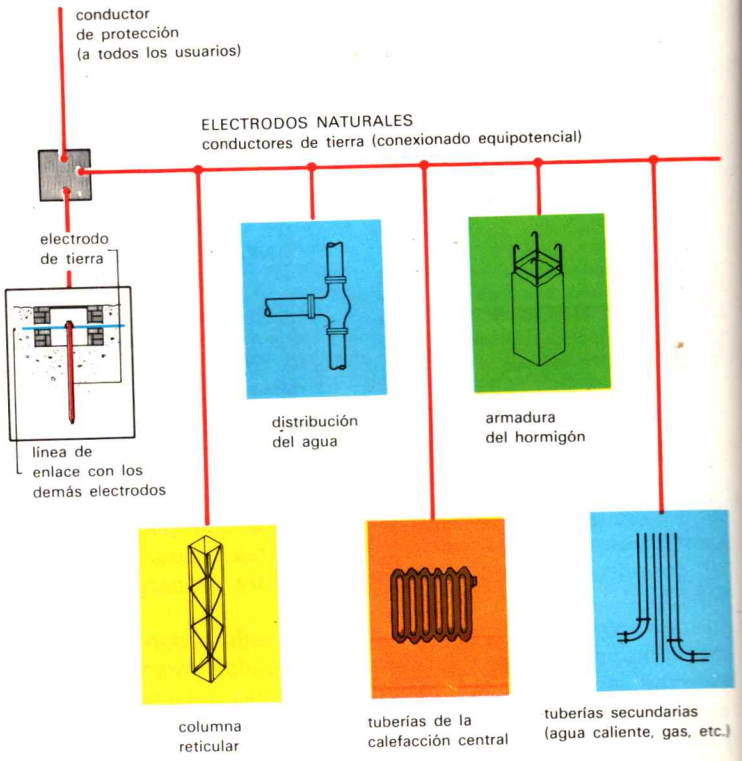
A-B-C-D - indicaciones generales fijas de las viviendas.
1 - Electrodo en anillo.
2 - Enlace entre eventuales conexiones de tierra y el electrodo en anillo.
3 - Enlace con las armaduras de los cimientos.
4 - Conexión de tierra.
5 - Enlace con los electrodos naturales (ver pág. 40).
6 - Picas
7 - Montante para la toma de tierra de los usuarios.

Si existe un electrodo en anillo, habrá que conectarle un cierto número de picas en los siguientes casos:
a) cuando se prevea la protección contra descargas atmosféricas;
b) cuando se trate de edificios, sobre todo si son de reducidas dimensiones, cuyos cimientos descansen en terrenos de elevada resistividad (por ejemplo, terreno guijarreño);
c) cuando, en determinadas circunstancias, sea necesario reducir la tensión de paso.

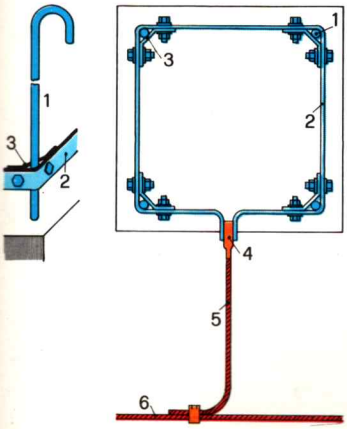
Si no se dispone de un electrodo en anillo (edificios ya existentes o en los que por cualquier razón no se colocó el anillo a su debido tiempo) confíese la protección a los electrodos en pica.

Electrodos naturales

Además de los tipos de electrodos ilustrados en las páginas precedentes, existen en las edificaciones otros muchos elementos que pueden contribuir eficazmente a la dispersión de las corrientes de defecto (hierro de los plintos, tuberías metálicas, etc.). Desde luego, éstos no sustituyen, en absoluto, a la red de tierra (o sea, los electrodos en pica, anillo, etc. y las correspondientes conexiones entre ellos).
Estos elementos, definidos como *electrodos naturales,* tienen una doble función: permitir un aumento de la superficie de contacto con la tierra y reducir la resistencia total de tierra.



Conexión de la armadura del hormigón al electrodo



1 - Armadura formada por varillas de hierro.
2 - Pletina de acero galvanizado (40 x 3 ÷ 4 mm).
3 - Abrazaderas remachadas para apretar firmemente las varillas contra la pletina. Se pueden sustituir por soldaduras eléctricas de arco.
4 - Terminal insertado entre los dos extremos de la pletina.
5 - Cable de cobre.
6 - Conductor de enlace entre las armaduras de los plintos y que va a parar a la placa donde se reúnen todos los conductores de la instalación de tierra.

advertencias

El empleo de electrodos naturales presupone una estrecha colaboración entre la empresa constructora y los encargados de la instalación de fontanería y electricidad.
Considerada en el tiempo, y para la realización de una eficiente instalación de puesta a tierra, es necesario que la intervención del especialista en instalaciones eléctricas tenga lugar:
—al llevar a cabo la excavación o durante la colocación de los cimientos a fin de predeterminar la situación del electrodo, particularmente si éste es del tipo en anillo;
—durante la ejecución de los plintos a fin de poder efectuar conexiones a las varillas de hierro;
—durante la realización de las instalaciones tecnológicas comunes (calefacción, suministro de agua, desagües, etc.) a fin de poder prever la continuidad metálica de las tuberías así como las conexiones equipotenciales;
—durante la instalación de las bañeras o de los platos para ducha, por la razón ya indicada, antes, desde luego, de que se coloquen los azulejos.

Empleo de la canalización del agua

En las instalaciones receptoras funcionando a tensión nominal inferior a 1 000 voltios se admite el empleo de la canalización del agua como electrodo de tierra, siempre y cuando las tuberías tengan una considerable extensión, sean metálicas y estén profundamente enterradas. En cualquier caso, será necesario solicitar la autorización de la sociedad explotadora de la canalización.

Conviene no olvidar, sin embargo, que se va extendiendo el uso de tubos de material aislante, en cuyo caso la eficacia de la conducción del agua como electrodo es nula.

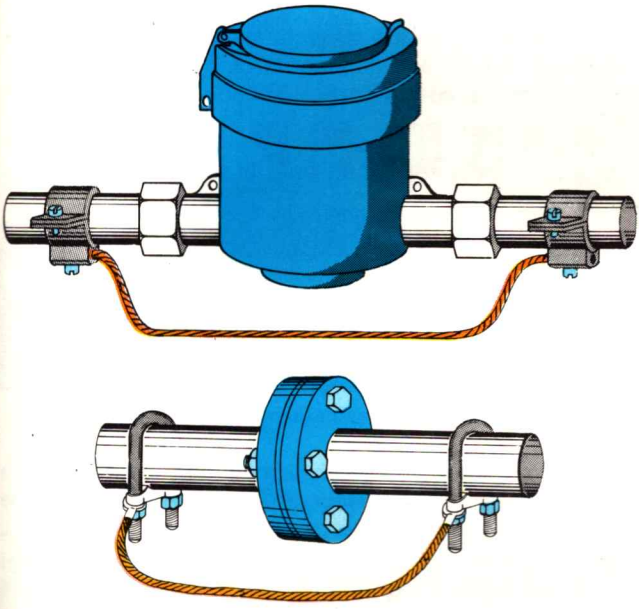
La conexión eléctrica del conductor de tierra al emplear la canalización del agua como electrodo, se realiza antes del contador general del agua. La entrada y salida de éste pueden, asimismo, cortocircuitarse con un puente realizado con cable o pletina de cobre o de acero galvanizado cuya sección corresponda a lo especificado en la pág. 28, fijándolos al tubo con abrazaderas adecuadas.

La capa de protección contra la corrosión que eventualmente pueda recubrir el tubo (pintura) deberá eliminarse cuidadosamente a fin de obtener un buen contacto entre el conductor de tierra y el tubo metálico. Luego, se aplicará de nuevo la capa protectora contra la corrosión, por encima del conexionado.

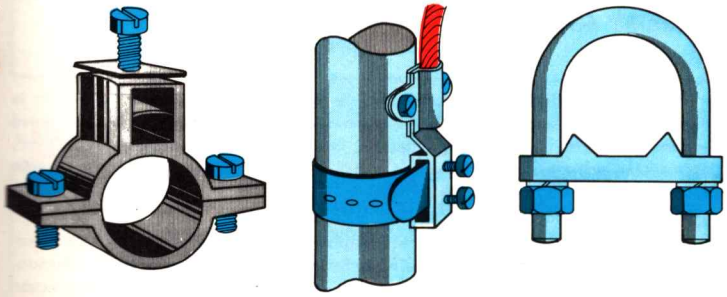
La red de distribución de agua (caliente o fría) que se extiende después del contador —y por lo tanto perteneciente a la propiedad común o a la sociedad constructora— deberá conectarse equipotencialmente a la instalación de tierra.

Prescindiendo del empleo de la conducción del agua como electrodo, la conexión entre ésta y la instalación de tierra de las redes de tuberías metálicas destinadas al aporte, distribución y descarga del agua en el interior del edificio, adquiere una importancia particular a los efectos de equipotencialidad de las masas. Recuérdese también, en este caso, que los empalmes entre las distintas tuberías no garantizan una perfecta conexión eléctrica y, por lo tanto, será conveniente cortocircuitarlos mediante puentes.

Tipos de empalmes



Tipos de abrazaderas



LA RED DE TIERRA Y DE PROTECCION

Definiciones

En toda instalación de tierra existe:

— **la red principal**: es la que conecta los electrodos entre sí (picas o placas). En el caso de electrodos en anillo se identifica con los propios conductores utilizados para formar el bucle (*).

La sección mínima del conductor para la red principal de tierra debe ser:

16 mm² para cables de cobre desnudo o aislado, utilizado en la conexión entre electrodos (**);
50 mm² para acero galvanizado en baño caliente.

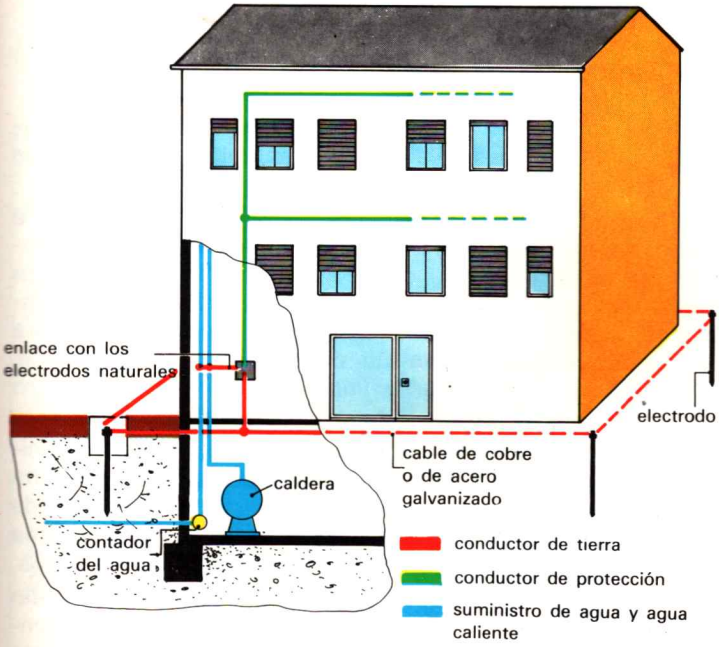
Las secciones que aquí se indican son válidas, también, para el conductor que enlaza el sistema dispersor con la red de protección de cada uno de los usuarios.

—**la red de protección:** es la que, partiendo del punto terminal del sistema dispersor y siguiendo el mismo trayecto que los conductores de alimentación (montantes, dorsales o derivaciones) conecta los elementos de cada usuario que requieren ser puestos a tierra.

Las secciones que se deben adoptar para los conductores que forman parte de la red de protección están indicadas en la página 48.

(*) En este caso, adóptense las secciones de los conductores que se indican en la página 28 (según las normas CEI). Asimismo recuérdese que el D.P.R. 547 prevé para los conductores de tierra de material ferroso, la sección mínima de 50 mm². Esta sección deberá adoptarse cuando el mismo conductor cumple la doble función de conductor de tierra y electrodo.

(**) Es aconsejable el empleo de cable aislado cuando existe el temor de que la naturaleza del terreno pueda dar lugar a fenómenos de corrosión (por ejemplo: presencia de ácidos o sales como consecuencia de residuos industriales) con destrucción rápida de los materiales utilizados, o bien para reducir los gradientes de potencial que pueden originar tensiones de paso peligrosas (ello es válido, particularmente, en instalaciones de puesta a tierra correspondientes a máquinas y aparatos alimentados con alta tensión). Cuando ello sea posible, empléense conductores desnudos; contribuyen a disminuir la resistencia de tierra.



advertencias

—Elíjanse los recorridos más breves para los conductores de tierra.
—Evítese que los conductores estén sometidos a solicitaciones mecánicas y téngase en cuenta el asentamiento del terreno.
—Préstese particular atención a la posibilidad de que tengan lugar fenómenos de corrosión.

prohibido

—Interrumpir los conductores de tierra y de protección con interruptores y fusibles.
—Efectuar conexiones con soldaduras de estaño.
—Utilizar a modo de conductores de tierra, órganos de transmisión (ejes, cadenas, cables, barras, etc.) o partes metálicas que puedan ser retiradas por exigencias del trabajo.

Ejecución de los empalmes

Deberán ser resistentes a fin de que puedan soportar los esfuerzos mecánicos derivados de eventuales asentamientos del terreno.

El empalme se realizará con soldadura fuerte o autógena, o mediante unos oportunos y fuertes bornes. La segunda solución es preferible por ser de ejecución más fácil y rápida, en particular si se tienen en cuenta las exigencias de la edificación. La construcción de los bornes debe ser tal que asegure una superficie de contacto útil, de 200 mm^2 cuando menos, empleándose para apretarlos uno o más pernos de diámetro no inferior a 10 mm.

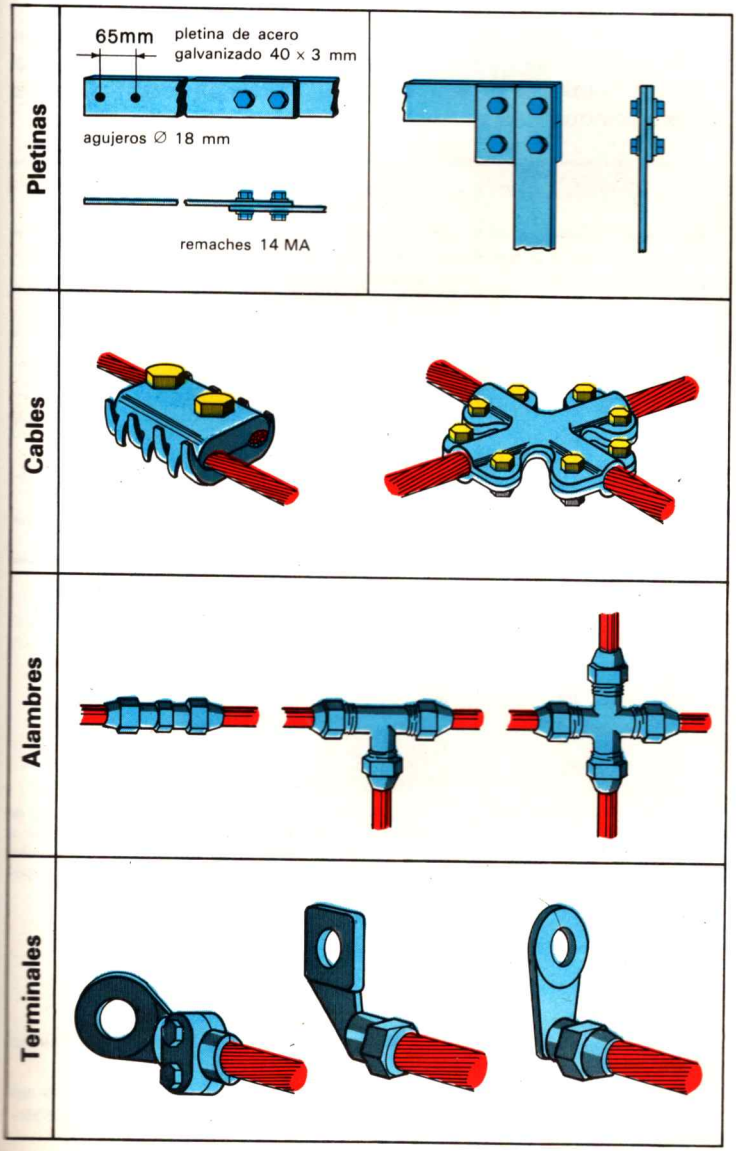
Tanto los bornes como los pernos serán de acero galvanizado, de cobre endurecido o de acero inoxidable. Se admite también el uso de pernos con recubrimiento electrolítico de zinc, siempre y cuando después de su colocación se proceda a aplicar una cuidadosa capa de pintura sobre los mismos.

Se efectuará una minuciosa elección de los materiales a fin de evitar que se formen pares galvánicos entre ellos. El contacto entre dos metales distintos en un ambiente húmedo puede dar lugar a la corrosión de uno de ellos (zinc-cobre, hierro-cobre). Evítese, por consiguiente, la conexión de un conductor de cobre con terminal del mismo metal a un electrodo galvanizado (utilícense terminales niquelados o estañados).

Protéjase el empalme contra la corrosión mediante un revestimiento de protección (pinturas). Asimismo, se deberán recubrir con pintura las soldaduras entre elementos ferrosos en aquellos casos en que no se hallen sumergidas en el hormigón.

En la página siguiente se ilustran unos cuantos bornes solamente a título orientativo, ya que en el mercado existen otros tipos aptos para desempeñar las mismas funciones.

Ejemplos de empalmes



Secciones mínimas de los conductores de protección

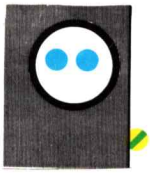
La tabla que aparece más abajo es válida para instalaciones receptoras en las que se utilice una tensión nominal inferior a 1000 V, lo mismo se trate de instalaciones en construcciones civiles o industriales.

Sección del conductor de fase que alimenta la máquina o el aparato (mm^2)	Sección mínima del conductor de tierra o de protección	
	formando parte del mismo cable o alojado en el mismo tubo que el conductor de fase (mm^2)	no formando parte del mismo cable y sin estar alojado en el mismo tubo que el conductor de fase (mm^2)
menor o igual a 5	sección del conductor de fase	5 (*)
mayor que 5 y menor o igual a 16	sección del conductor de fase (*)	
mayor que 16	mitad de la sección del conductor de fase con un mínimo de 16	16

Ejemplos

Sección del conductor de fase cuando éste sea menor de 16 mm^2.

Sección mínima 16 mm^2, cualquiera que sea la sección del conductor de fase (**).



Sección del conductor de fase (si éste es inferior a 16 mm^2) con un mínimo de 5 mm^2 (desnudo o aislado).

Conductor de fase, o bien fase y neutro.

Conductor de protección.

(*) Siempre y cuando sea visible, de lo contrario —en todos los casos— adóptense 16 mm^2 como sección mínima.

(**) Es recomendable disponer el conductor de tierra o de protección dentro de un tubo que le proteja (aislante o metálico) a fin de permitir eventuales dilataciones térmicas.

Si el conductor de tierra o de protección (*) forma parte del mismo cable o está alojado en el mismo tubo que el conductor de fase, el grado de aislamiento previsto será igual al requerido por el conductor de fase. A fin de diferenciarlo claramente de los conductores de fase o del neutro, su revestimiento aislante será de color amarillo-verde.

prohibido

—Utilizar como conductor de tierra y de protección el neutro de la red pública de distribución de energía, aun cuando éste se halle francamente puesto a tierra.
—Utilizar órganos de transmisión o elementos que se puedan desmontar, como conductores de tierra.

(*) Recordemos una vez más que por conductor de protección se entiende el destinado a la conexión de las partes metálicas de los aparatos receptores (motores, lavadoras, lavavajillas, frigoríficos, calentadores eléctricos, etc.) con el conductor de tierra (línea principal).

Las normas CEI dicen:

"Todo edificio provisto de instalaciones eléctricas debe tener una instalación de tierra propia (instalación local de tierra)".

"Estarán protegidas contra las tensiones de contacto todas las partes metálicas de la instalación eléctrica y de los aparatos receptores alimentados por sistemas de tensión no superior a 1 000 V, que ordinariamente no están bajo tensión pero que, por defecto de aislamiento o por otras causas fortuitas, pudieran llegar a encontrarse bajo tensión."

"... cada instalación receptora, o conjunto de instalaciones ubicadas en un mismo edificio o en sus dependencias, debe disponer de su propia instalación de tierra. A dicha instalación de tierra se deberán conectar todos los sistemas de tuberías metálicas accesibles destinadas al aporte, distribución y descarga de las aguas así como todas las masas metálicas accesibles, de considerable extensión, que existan dentro del área de la propia instalación receptora".

"En la instalación de tierra debe existir siempre un conductor de protección que será, en cualquier caso, distinto a cualquier otro conductor de la instalación: en particular, no puede ser considerado como conductor de protección la línea del neutro aún cuando esté puesta a tierra".

"Todas las partes metálicas de la instalación eléctrica y de los aparatos receptores que deban ser protegidas contra las tensiones de contacto, deberán conectarse al conductor de protección".

Protecciones contra las tensiones de contacto

Una vez puestas en práctica todas las medidas indicadas en la página precedente, la protección contra las tensiones de contacto se puede realizar mediante uno de los siguientes sistemas:

1) puesta a tierra directa y protección de máxima intensidad;
2) puesta a tierra directa y adopción de interruptores diferenciales.

Interruptores automáticos

En el primer caso se recurre a los interruptores automáticos provistos de relé térmico y de relé electromagnético. Los relés intervienen cuando se dan las siguientes condiciones:

—*relés térmicos:* al cabo de una hora, cuando la corriente de sobrecarga se halla comprendida entre 1,3 y 1,4 veces la corriente nominal; aumentando la corriente de sobrecarga disminuye el tiempo requerido para disparar el interruptor (por ejemplo, para corrientes de sobrecarga 3 a 5 veces mayores que la corriente nominal, el tiempo oscila entre 5 y 2 segundos);

—*relés electromagnéticos:* intervienen en tiempos comprendidos entre dos segundos y unos pocos milisegundos cuando la corriente de sobrecarga es de 6 a 10 veces la nominal.

Es conveniente, siempre, examinar las curvas de calibrado facilitadas por los fabricantes.

En lugar de confiar la protección a los interruptores automáticos, se pueden utilizar fusibles en su lugar: cualquiera que sea el caso será necesario conocer las curvas de calibrado en *frío* facilitadas por el fabricante.

Interruptores diferenciales

Los interruptores automáticos normales pueden incorporar dispositivos sensibles a los desequilibrios de corriente que tengan lugar entre los dos conductores de una línea como consecuencia de un contacto directo o de un fallo interno en un aparato.

Pueden ser de alta o baja sensibilidad. El principio de funcionamiento es sustancialmente análogo para ambos, a condición de que pertenezcan al tipo de desenclavamiento directo.

De alta sensibilidad

El umbral de intervención de los dispositivos diferenciales se sitúa alrededor de los 25-30 mA; dicho umbral se define como de "intervención segura". La posibilidad de instalación presupone que no existan en la instalación corrientes de dispersión debidas a fallos de aislamiento, superiores al límite del umbral de intervención. Del mismo modo, la suma de sumerosas fugas pequeñas debe ser, también, inferior a la corriente de "no intervención segura", que corresponde aproximadamente al 50% del umbral de intervención del dispositivo.

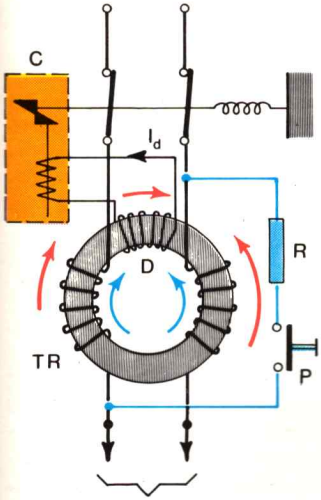
De baja sensibilidad

Respecto a los interruptores diferenciales de baja sensibilidad, el umbral de intervención puede ser de 0,1, 0,3, 0,5 ó 1 A.

Principio de un dispositivo diferencial

Distribución de los flujos magnéticos cuando la instalación está aislada: los flujos magnéticos generados en la bobina toroidal (*TR*) por los devanados correspondientes a los dos conductores de la línea, son iguales (puesto que son iguales las corrientes) y se anulan recíprocamente.

Cuando existen corrientes de fuga: los flujos magnéticos generados por los devanados correspondientes a los conductores de la línea dejan de ser iguales, lo que da lugar a una variación de flujo que induce una fuerza electromotriz (f.e.m.) en el devanado *D.* Dicha f.e.m. excita la bobina que gobierna el dispositivo que abre el interruptor.



Esquema de principio de un interruptor diferencial

P - pulsador para prueba.

R - resistencia.

C - dispositivo de mando de la apertura del interruptor.

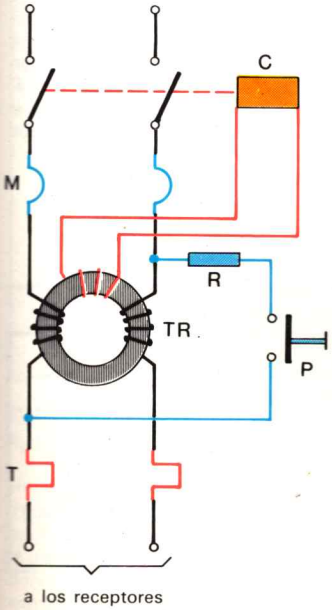
TR - toro

D - devanado diferencial

I_d - corriente diferencial.

sentido de los flujos cuando la instalación está aislada.

sentido de los flujos cuando hay corriente de dispersión.



Esquema de principio de un interruptor automático complementado con el dispositivo diferencial

M - relé magnético.

T - relé térmico

C - dispositivo de desenclavamiento directo

P - pulsador para prueba

Coordinación de las protecciones

(según las normas CEI 11-1 y 11-8)

1 - Dispositivo de corriente máxima

"La protección contra las tensiones de contacto mediante puesta a tierra directa y dispositivo de corriente máxima, requiere la colocación de una instalación de tierra coordinada con la protección de la instalación receptora de tal modo que se satisfaga la relación:

$$R_t \leq \frac{50}{I_s}$$

donde R_t es el valor en ohmios de la resistencia de la instalación de tierra, e I_s es el valor más elevado, en amperios, de las corrientes de intervención en un tiempo inferior a 5 segundos correspondientes a los dispositivos de máxima corriente, instalados para la protección de cada una de las derivaciones."

Ejemplo

Supongamos que en una edificación civil, la protección de una instalación receptora se confía a un interruptor automático cuya corriente nominal son 10 A (según la indicación de la plaquita de características). Dado que los fabricantes prevén, por regla general, para un dispositivo de máxima corriente, que la intervención en un tiempo inferior a 5 segundos se produzca con una corriente de 4 a 6 veces la nominal, la corriente I_s que deberá tomarse en consideración será de 40 a 60 A. Si el interruptor interviene a 50 A, la resistencia de tierra de la instalación que se debe proteger será:

$$R_t \leq \frac{50}{I_s} \leq \frac{50}{50} \leq 1 \text{ ohmio}$$

advertencias

—Puesto que, si se recurre solamente a los interruptores automáticos con dispositivo de máxima corriente para la protección contra las tensiones de contacto, la resistencia de tierra debe ser muy baja en todos los casos y, por lo tanto, no siempre fácil de realizar, resulta conveniente adoptar los relés diferenciales de alta o baja sensibilidad (ver página contigua).

2 - Dispositivo diferencial

"La resistencia de las instalaciones de tierra debe satisfacer la relación:

$$R_t \leq \frac{50}{I_d} \text{ (*)}$$

donde R_t es el valor de la resistencia de la instalación de tierra e I_d es el valor más elevado, en amperios, entre los valores de la corriente mínima de disparo de los relés diferenciales colocados como protección en cada instalación receptora."

Ejemplo

Si se utiliza un interruptor diferencial de alta sensibilidad ($I_d = 0{,}025$ A), la resistencia de tierra tendrá que ser:

$$R_t \leq \frac{50}{I_d} \leq \frac{50}{0{,}025} \leq 2000 \text{ ohmios}$$

Si, en cambio, se adopta un interruptor diferencial de baja sensibilidad, $I_d = 0{,}5$ A, la resistencia de tierra deberá ser:

$$R_t \leq \frac{50}{I_d} \leq \frac{50}{0{,}5} \leq 100 \text{ ohmios}$$

advertencias

—La corriente I_d de intervención de los interruptores diferenciales de alta y baja sensibilidad, se ha indicado en la página 52.

—La instalación de los interruptores diferenciales es conveniente, no sólo en toda instalación receptora sino también en cada una de las secciones correspondientes a las instalaciones destinadas a los servicios comunes (ascensores, quemadores, etc.). Por lo que respecta a los tipos trifásicos, véase la página 65.

—Aun cuando al recurrir a los interruptores diferenciales los valores requeridos para la resistencia de tierra sean muy altos y, por lo tanto, fácilmente obtenibles, es conveniente, no obstante, realizar instalaciones de tierra que se caractericen por una resistencia de tierra muy baja (**).

(*) N. del T. - Según la MI BT 021, para emplazamientos húmedos o mojados, será: $R_t \leq \frac{24}{I_d}$

(**) Téngase en cuenta que en tanto siga vigente el D.P.R. 547 de 27 de abril de 1955 (Normas para la prevención de accidentes laborales), en ningún caso la resistencia de tierra podrá superar los 20 ohmios.

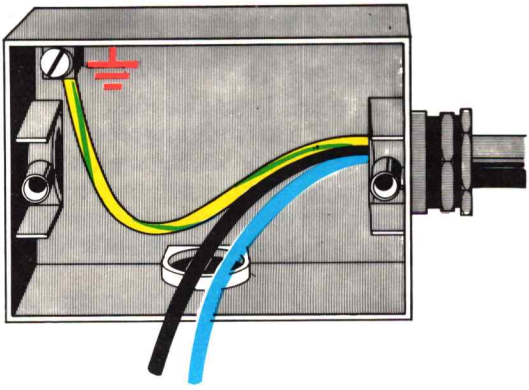
N del T. - Esta limitación no está contenida en el Reglamento Electrotécnico para Baja Tensión, actualmente vigente en España, sino tan sólo la recomendación de no sobrepasar los 37 ohmios (MI BT 023-4.1 c).

Empalmes a tierra

La línea de enlace con tierra debe tener algunos puntos accesibles (empalmes a tierra) para el conexionado de los montantes o líneas principales, y para las mediciones (comprobaciones periódicas).

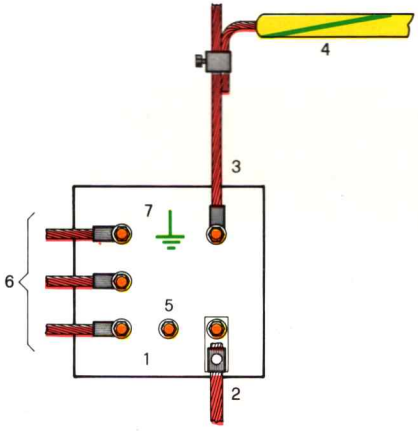
Dichos puntos de conexión se situarán en los sótanos, en correspondencia con el hueco de las escaleras (tantos puntos de conexión como huecos de escalera existan). Alternativamente, cuando se prevea que la totalidad de la alimentación eléctrica del edificio se derivará de un único cuadro o de una única cabina de distribución (por ejemplo, en el caso de tener los contadores centralizados en el sótano), instálese en la vecindad de dicho cuadro o cabina una única placa de tierra, con bornes para la conexión de los conductores procedentes de los electrodos naturales.

Respecto a la aparamenta, basta con recordar que si las envolturas son metálicas y los aparatos cumplen las normas CEI y se les ha otorgado la Marca de Calidad, deberán estar provistos de bornes para la puesta a tierra contraseñados con el símbolo ⏚



Montantes

A fin de disponer de una conexión racional entre el conductor procedente del electrodo, aquellos que proceden de cada uno de los electrodos naturales y, finalmente, el montante o línea principal con la que enlazarán los conductores de protección, es conveniente recurrir al empleo de una placa. Normalmente, se instala ésta en el sótano, próxima al cuadro de contadores.



1 - Placa de cobre o de acero galvanizado con bornes (tornillos o tuercas) a la que va a parar el conductor principal de la instalación de tierra.

2 - Procedente del electrodo de tierra (mínima sección admitida, 16 mm² si es de cobre, y 50 mm² si es de acero galvanizado).

3 - Montante correspondiente a la línea principal de tierra (de cobre desnudo o aislado). La sección del mismo debe ser adecuada a la corriente de dispersión prevista para la instalación con un mínimo que en ningún caso será inferior a 16 mm².

4 - Conductor destinado a la protección de una sola instalación receptora (vivienda, establecimiento, oficina, etc.). Tendrá la misma sección que el conductor de fase si está inserto en el mismo tubo de protección o en el mismo cable multipolar que aquél (respecto a los demás casos, ver la página 48).

5 - Borne donde se conectan los conductores de protección destinados a los servicios comunes: distribución centralizada del agua, calefacción, etc. (sección mínima, 16 mm²).

6 - Conductores procedentes de los "electrodos naturales" (armaduras del hormigón, circuito de calefacción central, conducción de agua, etc.).

7 - Símbolo de tierra

Conexiones equipotenciales

Recordemos lo que ya se ha dicho en la página 40 a propósito de los electrodos naturales.

Las conexiones equipotenciales sirven para realizar la conexión eléctrica entre todas las masas metálicas existentes en el edificio a fin de que, en caso de avería, no puedan aparecer tensiones peligrosas entre elementos diversos (por ejemplo: entre el grifo y el desagüe de la bañera; entre las tuberías del agua y las del gas) (*).

El término "equipotencial" significa, de hecho, que los elementos metálicos se encuentran al mismo potencial y, de ahí, que no puedan dar lugar a accidentes de naturaleza eléctrica.

Al escoger el material que se utilizará para las conexiones equipotenciales adóptense las siguientes secciones mínimas:

2,5 mm^2 (cobre) para líneas con protección mecánica, o sea, alojadas en tubos o empotradas en el enlucido.
4 mm^2 (cobre) para líneas sin protección mecánica y fijadas directamente en la pared.

Uno de los extremos u otro punto cualquiera de la línea, deberá resultar accesible, o sea, emerger del revestimiento (enlucido o plaquita) a fin de que se pueda empalmar con el conductor de protección de la instalación eléctrica.

(*) Recordemos que las normas prohíben el empleo de las canalizaciones de gas *como electrodos de tierra.* Esto —repetimos—, está taxativamente prohibido. Por contra, se admite el conexionado equipotencial entre las tuberías del gas que se encuentran después del contador y las tuberías destinadas a otros servicios.

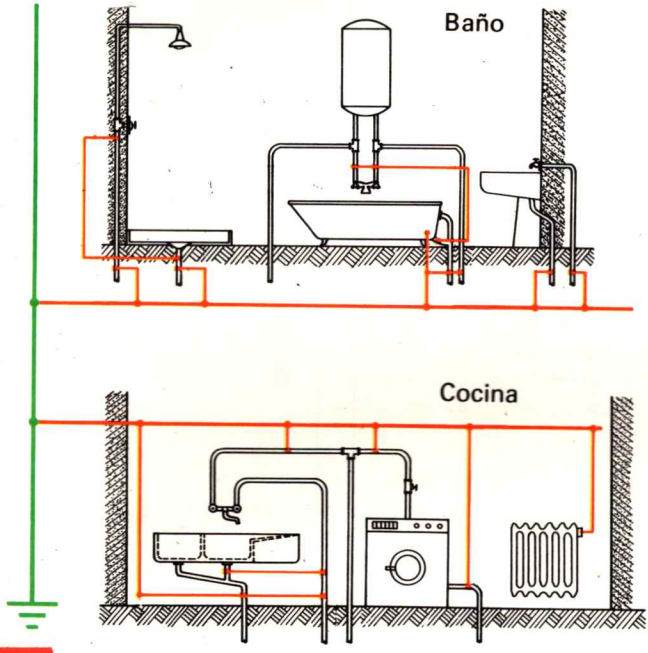
Conexiones en baños y cocinas

En las cocinas, baños y en los demás locales que puedan estar húmedos, se conectarán entre sí:

—las tuberías del agua caliente y fría con los correspondientes desagües de la bañera, ducha, fregaderos, máquinas lavadoras y lavavajillas. Respecto a la bañera, la conexión se puede realizar directamente entre el grupo del agua caliente y fría y la propia bañera;

—todas las tuberías de agua caliente y fría de los diferentes aparatos entre sí, y también entre sí todos los desagües;

—las tuberías de la instalación de calefacción y del gas, con las tuberías del agua fría.

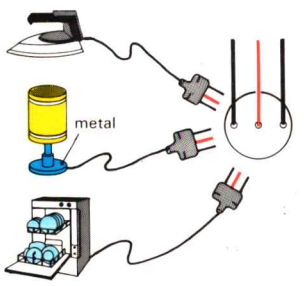


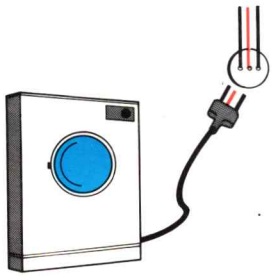
Conexiones equipotenciales. La resistencia de dichas conexiones no debe ser superior a 0,2 ohmios.

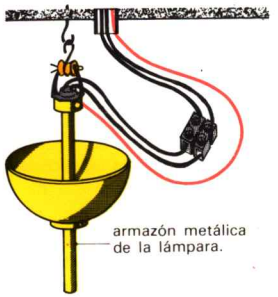
(*) Si la bañera (o el plato de la ducha) no dispone de un agujero roscado o de una lengüeta para la puesta a tierra, hágase una perforación, fileteándola después, en un punto no esmaltado de la misma.

Conexiones a los conductores de protección

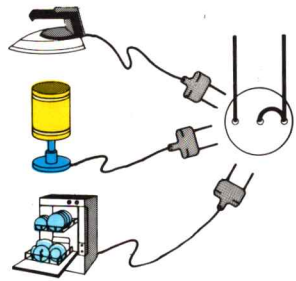
admitido



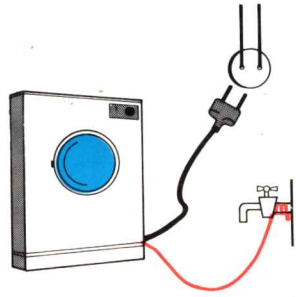


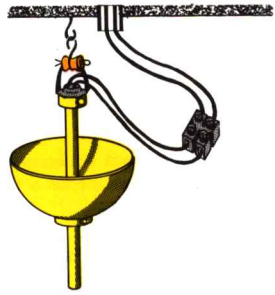


prohibido



Utilizar el neutro como conductor de tierra aun cuando por parte de la compañía suministradora de electricidad se le haya dado una tierra efectiva.



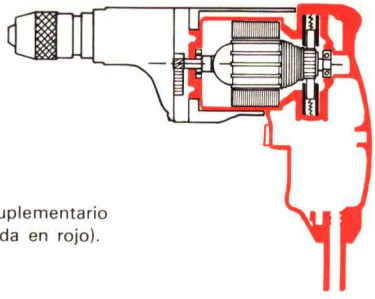


Aparatos que no precisan la puesta a tierra

El decreto ministerial de 20-11-68, reconoce la eficacia, a los fines de la seguridad, del aislamiento completo del que deben estar dotadas las herramientas y los aparatos movibles.

Se sigue de ello que en los aparatos eléctricos dotados de motor, que durante su empleo son sostenidos y guiados por el usuario (herramientas portátiles, aparatos electrodomésticos tales como secadores de cabello y enceradoras, aspiradores, etc.), no se requiere la puesta a tierra siempre y cuando estén provistos de doble aislamiento (aislamiento funcional y aislamiento suplementario de seguridad) (clase II).

Esto es válido, también, para los demás aparatos receptores sin motor eléctrico pero construidos en clase II (aparatos para el tratamiento de la piel, vaporizadores, estufas y placas para la calefacción, etc.). Los aparatos con aislamiento de clase II deben estar provistos de la contraseña indicadora del aislamiento especial completo (*) junto a la de uno de los seis Organismos reconocidos (nacionales y extranjeros) que le haya otorgado la homologación, con su correspondiente número de certificado (**).



Ejemplo de realización del aislamiento suplementario de seguridad (parte de la figura dibujada en rojo).

(*) Contraseña internacional. ⧈

(**) Marcas de los Organismos reconocidos por el decreto correspondiente al reconocimiento de la eficacia del aislamiento especial completo.

ITALIA — REPUBLICA FEDERAL DE ALEMANIA — FRANCIA — BELGICA — PAISES BAJOS

INSTALACIONES INDUSTRIALES

Generalidades

Entendemos como tales las realizadas en industrias pequeñas, medias y grandes, almacenes, obras, aparcamientos y ambientes similares en las que se produce una prestación laboral por parte de "personal subordinado o equiparado al mismo".
Estas industrias están afectadas, por lo tanto, por las disposiciones ministeriales concernientes a la prevención de accidentes laborales y el suministro de energía eléctrica a las mismas puede efectuarse mediante redes eléctricas de hasta 400 V de tensión (*) o con redes de media o alta tensión (requiriéndose, por lo tanto, cabinas transformadoras para la alimentación de los aparatos receptores).
Resulta evidente que la citada interpretación es restrictiva y debe extenderse también a los edificios civiles (hospitales, escuelas, locales destinados al culto y a espectáculos públicos, etc.) sujetos a la legislación en materia preventiva de accidentes, en tanto que en ellos hay personas que efectúan una prestación laboral fuera del propio domicilio. Además, también en dichos lugares es posible que el suministro de la energía eléctrica se efectúe a media o alta tensión.
Por otra parte, recordemos que la comprobación y el control de dichas instalaciones corre a cargo de la Inspección del Trabajo o del ENPI (Organismo Nacional para la Prevención

(*) Las normas CEI clasifican las redes de corriente alterna de la siguiente manera:
—categoría CERO, aquellas cuya tensión nominal sea menor o igual a 50 V si son de corriente alterna y 75 V en corriente continua. Esta categoría incluye, también, la Os (cero de seguridad) donde la alimentación procede de una fuente autónoma mediante un transformador de seguridad o de otra fuente con características de seguridad análogas y sin que tenga ningún punto de conexión a tierra. El sistema de categoría Os se debe separar de los demás sistemas eléctricos con un grado de aislamiento no inferior al previsto entre los devanados de un transformador de seguridad. Este sistema debería utilizarse para la alimentación de los juguetes eléctricos.
—categoría I, las de tensión nominal mayor de 50 V, hasta 1000 V;
—categoría II, las de tensión nominal mayor de 1000 V, hasta 30000 V;
—categoría III, las de tensión nominal mayor de 30000 V.

de Accidentes). A cargo de este último se encuentra la comprobación así como las inspecciones periódicas de las instalaciones de puesta a tierra y de los dispositivos destinados a neutralizar las descargas atmosféricas, así como la verificación de los ascensores destinados al servicio privado.
Asimismo, está confiada al ENPI la comprobación y revisiones periódicas de escaleras aéreas de inclinación variable, puentes extensibles transportables, puentes suspendidos provistos de una árgana, árganas de puentes suspendidos utilizadas en la construcción, hidroextractores provistos de cestas de más de 50 cm de diámetro, grúas y otros aparatos para levantamiento con capacidad superior a 200 kg, excluidos los de accionamiento manual. Puesto que muchos de los aparatos mencionados más arriba son de accionamiento eléctrico, se sigue de ello que deberán ser puestos a tierra.

Electrodos

El electrodo destinado a dispersar a tierra una corriente eléctrica se deberá construir adecuadamente, lo mismo que la red de conductores que se extienden desde el mismo hasta los aparatos receptores o las masas metálicas que hay que poner a tierra. A este respecto es válido lo expuesto en la página 44, referente a la red principal de tierra, y en la página 48 acerca de la sección de los conductores de protección.
La resistencia global de la instalación debe ser tan baja como sea posible con relación a las características de la instalación y de los dispositivos de protección adoptados (ver páginas 51 a 55).

prohibido

Utilizar como electrodos:
—el neutro de la instalación, aunque a éste le haya dado una tierra "segura" la empresa distribuidora;
—la canalización del agua en instalaciones alimentadas con tensiones superiores a 1000 V;
—las tuberías de aire comprimido y gas, incluso en el caso de que formen parte de las instalaciones de propiedad del usuario.

Empleo de interruptores diferenciales

Según ya se ha indicado en la página 55, los interruptores diferenciales automáticos de baja sensibilidad también se fabrican para tensiones trifásicas. Con ellos es posible la protección contra *contactos indirectos* con las partes que normalmente no están bajo tensión y evitan la dispersión de corrientes debidas a defecto de aislamiento (con relación al umbral de intervención).
La adopción de estos aparatos permite, además, llevar a cabo instalaciones caracterizadas por una resistencia de tierra no muy baja, de realización más fácil. En efecto, suponiendo que se confía la protección de una industria alimentada a baja tensión a un interruptor automático de 100 A de corriente nominal, y admitiendo que intervenga en un tiempo inferior a 5 segundos cuando la corriente de sobrecarga es 6 veces la nominal (600 A),la resistencia de la instalación de tierra (R_t) debería ser:

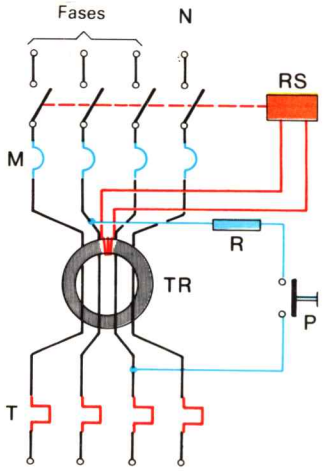
$$R_t = \frac{50}{600} = 0{,}083 \text{ ohmios}$$

Si, en cambio, se utiliza un interruptor diferencial cuyo umbral de intervención sea de 0,1 A, tendremos:

$$R_t = \frac{50}{0{,}1} = 500 \text{ ohmios (*)}$$

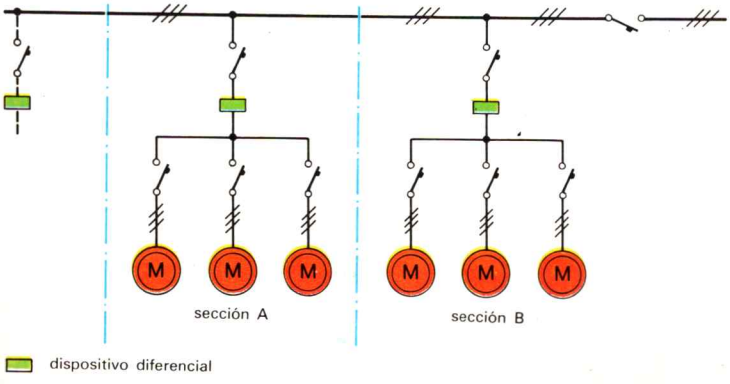
(*) Recuérdese lo dicho en la página 55 acerca del valor de la resistencia de tierra previsto por D.P.R. 547 en el sentido de que aquélla, en ningún caso deberá superar los 20 ohmios. De todas formas, es mucho más fácil de realizar una instalación de tierra cuya resistencia sea de dicha magnitud, que otra con valores del orden de décimas de ohmio.

Esquema de principio de un interruptor diferencial automático trifásico (*)



M - Relé electromagnético
T - Relé térmico
TR - Transformador diferencial toroidal
P - Pulsador para prueba
R - Resistencia limitadora
RS - Relé para desenclavado del interruptor

Protección para grupos de receptores (por ejemplo, subdivisión por secciones)

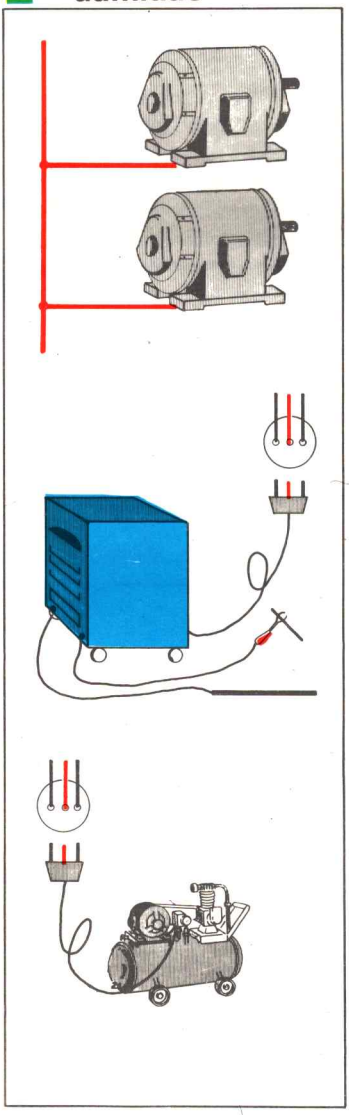


Se adopta esta disposición cuando la corriente total absorbida por la instalación es superior a la capacidad prevista para los interruptores diferenciales trifásicos, automáticos. Los aparatos disponibles en el mercado tienen un alcance nominal de hasta 150 A. Para cargas superiores se debe recurrir a toroides especiales.

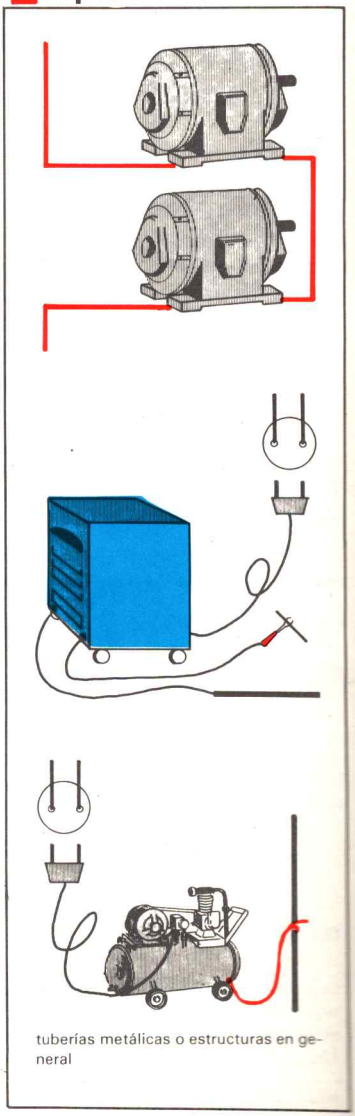
(*) Normalmente se fabrican en versión de tres fases + neutro.

Puesta a tierra de máquinas

admitido



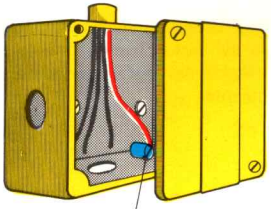
prohibido



tuberías metálicas o estructuras en general

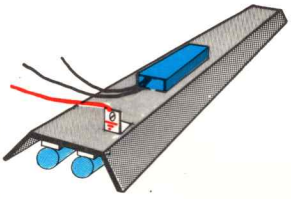
Puesta a tierra de aparamenta

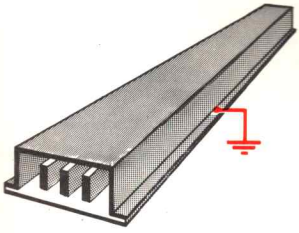
admitido



borne destinado a la puesta a tierra

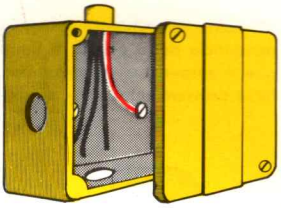
Las cajas de derivación, cajetines para tomas e interruptores, y cualquier clase de envolventes se deben conectar a tierra si son metálicos.





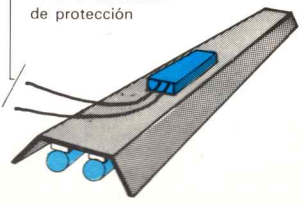
Canaleta prefabricada para la distribución de fuerza motriz o para otros servicios. La envoltura de protección de las barras se puede emplear como conductor de tierra siempre y cuando haya sido prevista para este fin.

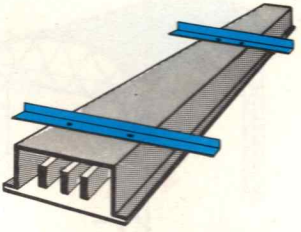
prohibido



Utilizar cajas metálicas desprovistas de borne de tierra (los tornillos de fijación no sustituyen dicho borne).

fase y neutro solamente. Falta el conductor de protección

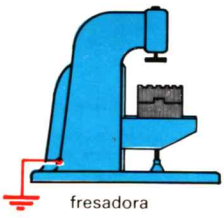




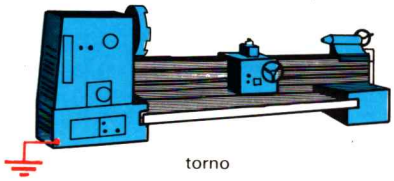
Confiar la puesta a tierra de la envoltura de protección de las barras a la armazón metálica de sostén. Vale lo mismo si las canaletas están sostenidas por medio de cadenas o tubos.

Puesta a tierra de máquinas-herramienta y de grandes masas metálicas

Máquinas-herramienta: póngase a tierra el armazón de la máquina, con independencia de la puesta a tierra de la carcasa del motor. Eventualmente se puede aprovechar el mismo conductor de protección del motor cuando no se haya previsto un conductor de tierra independiente.

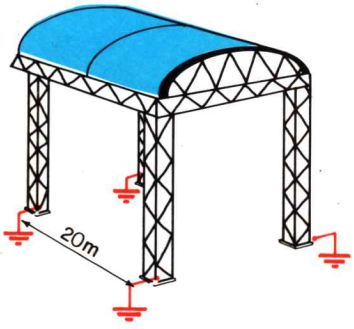


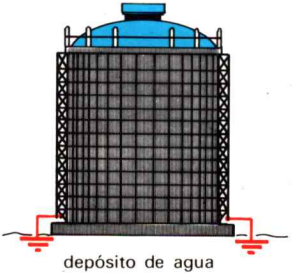
fresadora



torno

Grandes masas metálicas: estando expuestas a las descargas atmosféricas, empléense, preferentemente, electrodos en forma de picas. La conexión entre distintas partes que no proporcione una garantía de continuidad eléctrica (por ejemplo, por existir pintura interpuesta), se deberá efectuar por medio de puentes, en forma análoga a como se ha descrito en la pág. 42 con relación a las tuberías de agua.





depósito de agua

El número de derivaciones a tierra (en cobre o hierro galvanizado de sección no inferior a 50 mm^2) para proteger grandes masas metálicas de las descargas atmosféricas, está en función del perímetro de la estructura metálica que se debe proteger.

Se deberán satisfacer las relaciones:

$$n = \frac{P}{25} \qquad R_t \leq \frac{50}{n}$$

siendo:

n - número de las derivaciones a tierra con sus electrodos respectivos;

P - perímetro de la estructura que se protege (en metros);

R_t - resistencia total del conjunto de las derivaciones a tierra (en ohmios).

En cualquier caso, el número de derivaciones a tierra (n), nunca será inferior a 2.

La instalación de tierra contra las descargas atmosféricas no puede consistir únicamente en la conducción del agua. Las tuberías de distribución del agua se conectan a los órganos de bajada si se hallan situadas en su vecindad, en tanto que a la instalación única de tierra se conecta la canalización principal del agua.

Ejemplo

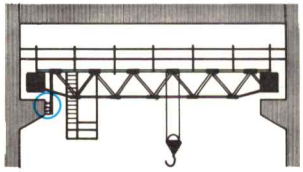
Cobertizo metálico cuyo perímetro es de 130 metros:

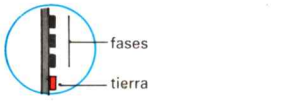
número de derivaciones: $n = \frac{130}{25} = 5{,}2$ (redondeado a 6);

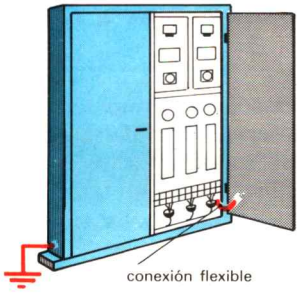
resistencia total de tierra: $R_t = \frac{50}{6} = 8{,}33$ ohmios.

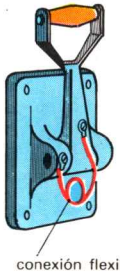
Puesta a tierra de partes móviles

admitido

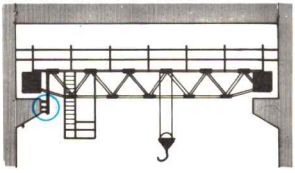


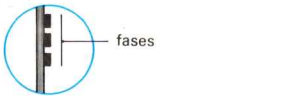


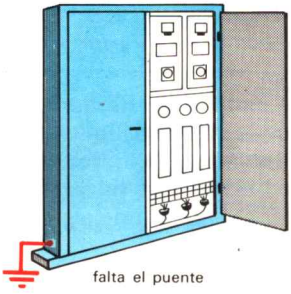


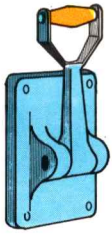


prohibido



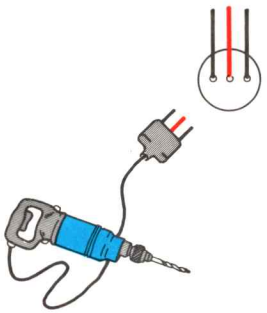






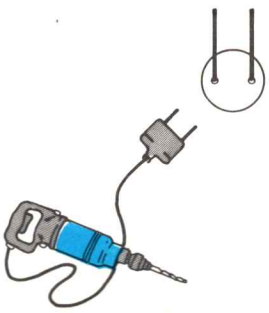
Herramientas portátiles

admitido

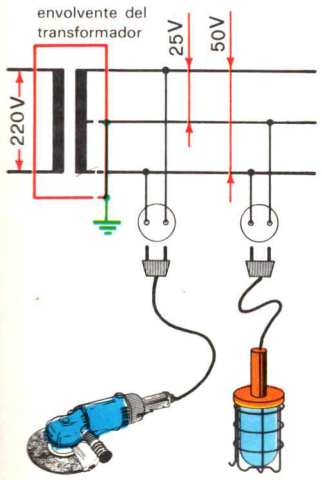


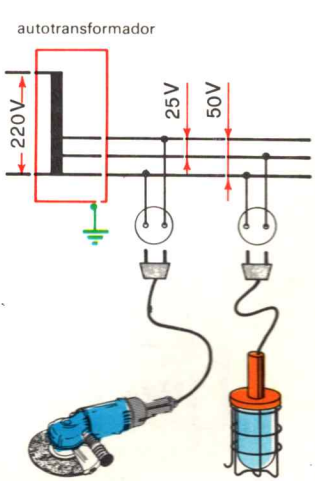
Si la herramienta portátil está dotada de doble aislamiento (realizada en clase II), no habrá que ponerla a tierra

prohibido



Empleo de herramientas o lámparas portátiles en ambientes húmedos, mojados o en la proximidad de grandes masas metálicas





Instalaciones de puesta a tierra en las obras de construcción

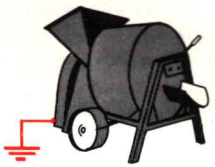
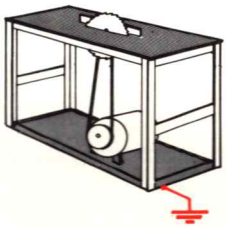
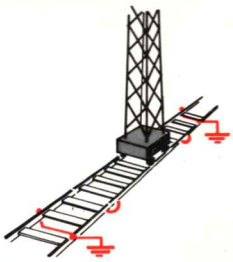
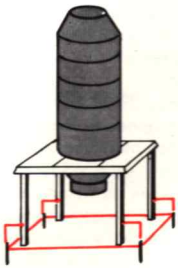
Adquieren una particular importancia por cuanto los accidentes, incluso mortales, son bastante elevados en las obras de edificación. Las causas deben buscarse en la provisionalidad de las instalaciones eléctricas que, a menudo, se llevan a cabo con medios no idóneos y casi siempre a la intemperie. Por otra parte, se deben tener en cuenta los factores negativos siguientes: presencia de agua para amasar cemento y arena; intenso movimiento de camiones y de otros elementos que pueden causar daños en las instalaciones; poca familiaridad de los obreros de la construcción con la electricidad (lo que lleva a subvalorar los peligros que encierra).

En las obras está prohibido el empleo de tensiones superiores a 220 V respecto a tierra. Además, siendo considerada una obra, por definición, un lugar húmedo, las lámparas portátiles no deberán alimentarse a más de 25 V con relación a tierra y las herramientas portátiles a más de 50 V respecto a tierra (ver la página precedente). Las lámparas eléctricas portátiles deberán estar siempre provistas de una envoltura de protección.

La instalación de puesta a tierra se puede realizar con picas o electrodos en anillo que circunden la obra, dependiendo ello de la naturaleza del terreno, según se ha indicado en las páginas precedentes. Sería deseable que se pudiera disfrutar de la instalación de puesta a tierra destinada al edificio en construcción realizándola paralelamente a las excavaciones (electrodos en anillo, ver página 37), pero ésto no siempre es posible por falta de coordinación en los trabajos.

Los conductores de protección deben salir directamente de la cabina de la obra a fin de poder ser identificado y evitar errores en la conexión. Tanto para los conductores de protección como para los de las fases, adóptese el grado 3 de aislamiento.

Principales medidas a tomar

La puesta a tierra de los motores eléctricos debe efectuarse directamente en las respectivas carcasas y no a través de las estructuras metálicas a las que se hallan fijados.	 Carcasa de la máquina: puesta a tierra directa o por medio del conductor de protección
Cuando el motor esté fijado sobre un material aislante y se accione la máquina por medio de correas aislantes, si la estructura de la máquina es metálica deberá ponerse, también, a tierra.	
Conectar a tierra los carriles con independencia de la puesta a tierra de los motores que accionan las grúas o el carro suspendido. Prevéanse puentes en las uniones de los carriles a fin de asegurar la continuidad metálica.	
Las estructuras metálicas de grandes masas de metal (depósitos de arena, cemento, agua) se deben conectar a tierra para protegerlas de las descargas atmosféricas. Utilícense picas como electrodos. Ver página 69.	

Partes que se deben poner a tierra

La instalación de tierra se proyectará de tal forma que con la corriente de tierra convencional no se verifiquen en ningún punto del terreno, tanto en el interior como en el exterior de la instalación, tensiones de contacto o de paso superiores a:

50 V cuando no se proceda a la eliminación rápida del defecto a tierra;
125 V cuando se proceda a la eliminación del defecto a tierra en el plazo de un segundo.

La comprobación de las tensiones de contacto y de paso no es necesaria cuando la tensión total de tierra de la instalación no supera los valores prescritos para la tensión de contacto y de paso en más del 20 %.
La resistencia de la instalación de puesta a tierra debería ser:

$$\leq \frac{50 + 20\ \%}{I_g} \leq \frac{60}{I_g} \quad \text{o bien } R_t \leq \frac{125 + 20\ \%}{} \leq \frac{150}{}$$

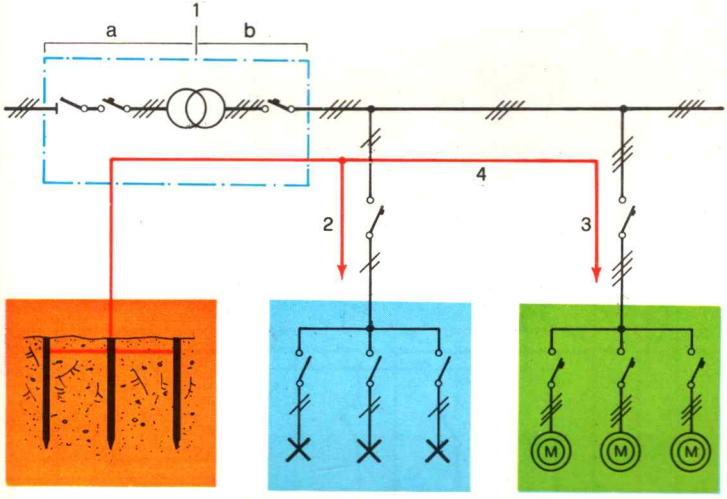
I_g es el valor de la corriente convencional de tierra, dato que deberá requerirse de la Compañía distribuidora.
Cuando no sea posible obtener valores de resistencia de tierra que satisfagan dichas relaciones es conveniente solicitar al Organismo de Control la comprobación de las tensiones de paso y de contacto. No se olvide que la instalación de tierra de la cabina se deberá interconectar con la de la red de distribución.
Si en ciertas zonas del terreno o en el interior de la cabina las tensiones de contacto o de paso superan los valores establecidos por las normas, para salvaguardar la seguridad de las personas se deberán tomar las oportunas precauciones: tarimas aislantes, alfombras, pavimentación aislante o colocación de redes metálicas bajo la pavimentación de la cabina para formar superficies equipotenciales. Si no es posible llevar a cabo dichas protecciones, se impedirá el acceso a tales zonas (colocación de cercas o pantallas aislantes).
Téngase en cuenta que una instalación de tierra proyectada correctamente para un defecto en alta tensión puede no ser idónea para un defecto en baja tensión siendo distintas las corrientes a tomar en consideración y los dispositivos de protección y viceversa.
Las normas CEI determinan que para la protección contra las tensiones de contacto se deben poner a tierra:
—las partes metálicas accesibles de máquinas y equipo, el armazón de soporte de aisladores y seccionadores, la protección metálica de los circuitos eléctricos;
—los órganos de mando manual de las aparamentas;
—los marcos y bastidores metálicos que circundan agujeros o discos de material aislante atravesados por conductores y las arandelas de los aisladores pasantes;
—los armazones de las distintas secciones de la instalación y las puertas y ventanas metálicas de la cabina.

Unicidad de instalación

La instalación de tierra empleada para la protección contra las tensiones de contacto de las partes indicadas en la página precedente —que en este caso concreto se define como "instalación local de puesta a tierra"— se puede utilizar para la puesta a tierra de las carcasas de máquinas y de estructuras correspondientes a la parte de instalación alimentada a baja tensión y en cualquiera de los casos deberán estar interconectadas.

Las normas CEI prescriben la unicidad de la instalación de puesta a tierra correspondiente a un edificio industrial alimentado con cabina propia.

El centro de la estrella del secundario del transformador (del lado de baja tensión) debe conectarse a la instalación local de puesta a tierra.



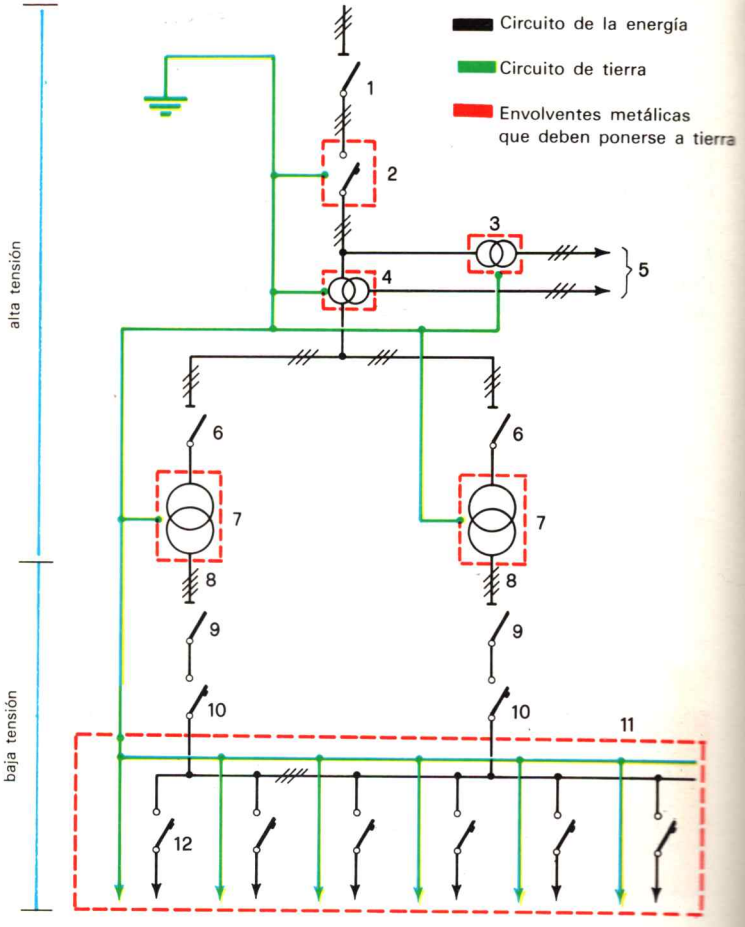
1 — Cabina
a — lado de alta tensión
b — lado de baja tensión
2 — A las armaduras de los aparatos de iluminación
3 — A la carcasa de cada motor y de cada máquina
4 — Conductor de protección

Electrodos

Iluminación

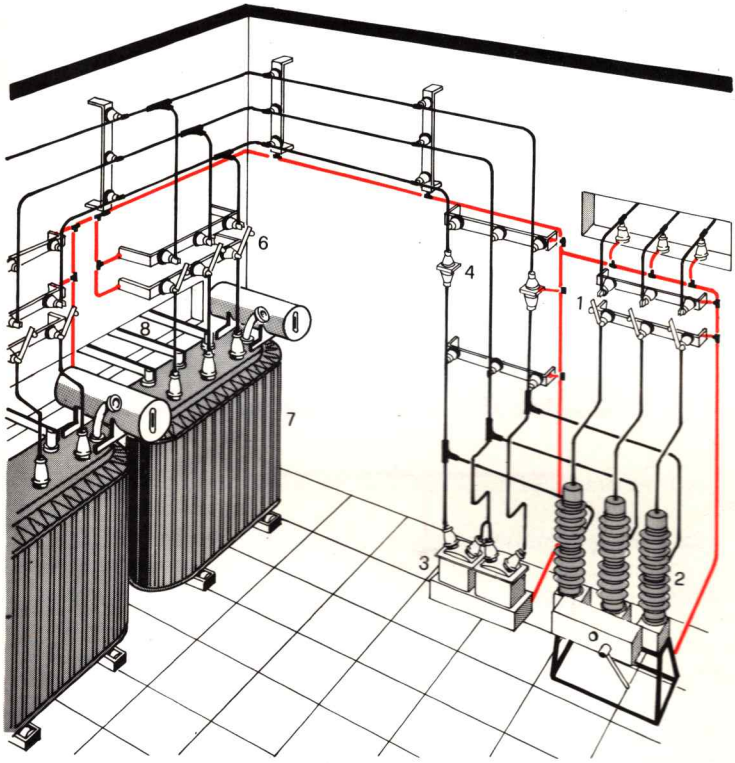
Fuerza motriz

Esquema de principio de una cabina



1 — Seccionador general
2 — Interruptor general
3 — Reductores de tensión
4 — Reductores de corriente
5 — A los instrumentos de medida
6 — Seccionadores
7 — Transformadores de potencia
8 — Barras de baja tensión
9 — Seccionadores
10 — Interruptores automáticos acoplados mecánicamente con los seccionadores 6 para evitar retransformaciones
11 — Cuadro general
12 — Barras ómnibus e interruptores automáticos para protección independiente de cada rama

Puesta a tierra del lado de alta tensión



—Respecto al significado de los números, ver la página contigua.

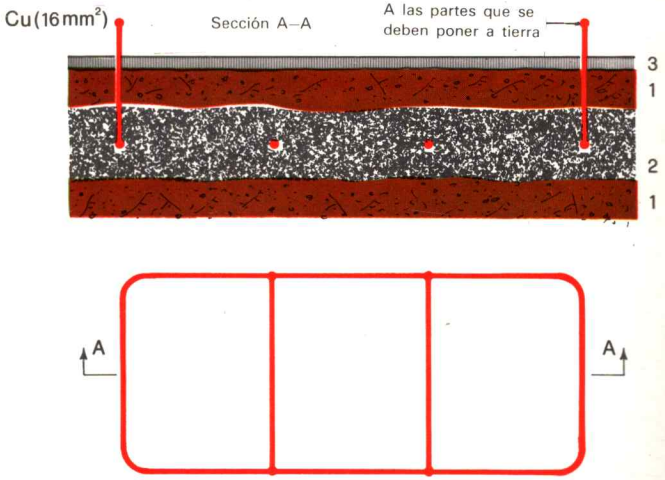
—La disposición de la aparamenta y de las máquinas es meramente indicativa: con relación a las características del local puede asumir una diferente configuración.

—Por razones obvias de tipo gráfico no se ha representado la llegada del conductor procedente de la línea principal de tierra, ni el pozo para el aceite de los transformadores.

Electrodos

Todo cuanto se ha dicho en las páginas 21 a 43 es válido con relación a los electrodos, sin olvidar que el electrodo preferible es la malla complementada con picas. Es conveniente que la red se "desparrame" por lo menos 1 metro más allá de la superficie ocupada por la cabina.

Antes de colocar la malla, trátese el fondo de la excavación extendiendo sobre el mismo una después de otra, sendas capas (10-15 cm) de tierra de cultivo (1) y de grafito en polvo (2); cúbrase la malla de la misma forma antes de pavimentar (3).



En el caso de utilizar picas, son preferibles los tipos tubulares o las de acero cobreado con las que es posible alcanzar una notable profundidad. En aquellos casos en que se alcancen capas freáticas, se obtiene un contacto más íntimo por parte del tubo si se practican algunos orificios a lo largo del mismo, pudiéndose también derramar por ellos substancias especiales que dan lugar a la formación de gels filiformes y profusamente ramificados.

La adopción de substancias que facilitan el contacto entre el electrodo y el terreno, formando gels filiformes, puede ser de utilidad cuando, encontrándose frente a terrenos areniscos sean de temer fenómenos de *vitrificación,* como consecuencia de las elevadas corrientes que el electrodo tenga que drenar. El fenómeno es irreversible y produce un notable aumento de la resistencia de tierra.

Puesta a tierra y protección de los sistemas de categoría I en las instalaciones receptoras provistas de cabina de transformación propia.

En las instalaciones alimentadas por redes de más de 1 000 V (categorías II-III), con cabina de transformación propia, en que el neutro del secundario del transformador está conectado a la única instalación de tierra (*), se cumplen las condiciones de seguridad relativas a la parte de baja tensión (categoría I) cuando las protecciones están coordinadas de modo que garanticen la oportuna interrupción del circuito de defecto a fin de evitar que las tensiones de contacto asuman valores superiores a 50 V durante un tiempo superior a 5 segundos. Para realizar la protección mediante dispositivos de máxima corriente en tiempo inverso o con dispositivos diferenciales sólo se requiere que en cualquier punto del circuito se satisfaga la condición:

$$I \leq U_o / Z_g$$

donde:

U_o es la tensión nominal de la instalación respecto de tierra (voltios);

Z_g es la impedancia total del circuito de defecto, en condiciones de defecto franco a tierra (ohmios);

I es el valor de la corriente (amperios) para que el dispositivo de protección intervenga en 5 segundos.

advertencias

—Si la extensión de las líneas es considerable, será necesario complementar la instalación de puesta a tierra de la cabina con otros electrodos colocados, por ejemplo, en la vecindad de cada cobertizo. Resulta aconsejable recurrir al empleo de electrodos en anillo (eventualmente complementados con picas).

—Al electrodo en anillo colocado en la proximidad de los cobertizos, se deberán conectar, además, todas las partes metálicas que constituyen el edificio (viguería, columnas y tijeras).

—En las instalaciones de tierra de las cabinas (del lado de la alta tensión) no se debe recurrir a las tuberías de agua potable para disminuir la resistencia de tierra de los electrodos. Dicho empalme no está permitido cuando se trata de redes eléctricas de tensión superior a 1 000 V

(*) En dicho caso el cálculo de las dimensiones de la instalación de tierra se lleva a cabo en base a los valores relacionados en el recuadro azul de la página 74.

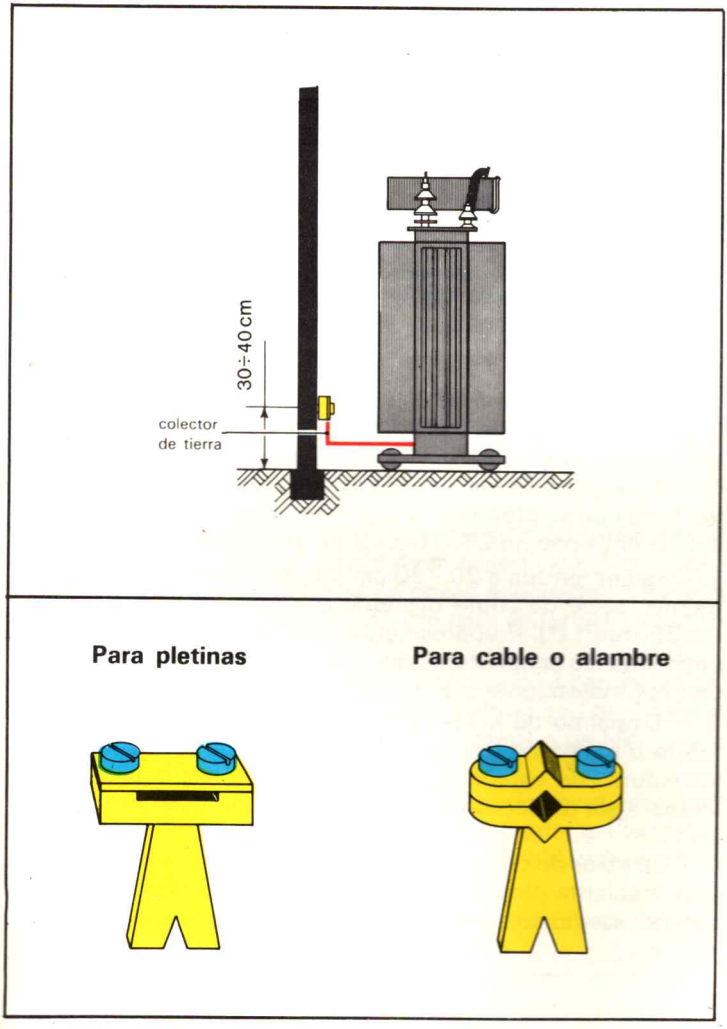
Secciones mínimas de los conductores para la puesta a tierra de partes de una instalación de tensión nominal $\leq$ 1000 V, en talleres eléctricos

Sección del conductor de fase que alimenta la máquina o el aparato (mm^2)	Sección mínima del conductor de tierra	
	formando parte del mismo cable o alojado en el mismo tubo que el conductor de fase (mm^2)	no formando parte del mismo cable y sin estar alojado en el mismo tubo que el conductor de fase (mm^2)
menor o igual a 5	Sección del conductor de fase	5
mayor que 5 y menor o igual a 16	Sección del conductor de fase	
mayor que 16	$\frac{I}{160}$ con un mínimo de 16 para conductores de cobre (*) $\frac{I}{100}$ con un mínimo de 35 para conductores de aluminio (*) $\frac{I}{60}$ con un mínimo de 50 para conductores de acero (*)	
I = máxima corriente de tierra prevista para el conductor de tierra, expresada en amperios (**).		

(*) Dichos valores son aplicables también en las instalaciones de tensión superior a 1 000 V, cualquiera que sea la sección del conductor de fase.

(**) Respecto al valor de la máxima corriente de tierra prevista para el conductor de tierra, consúltese al distribuidor de la energía eléctrica.

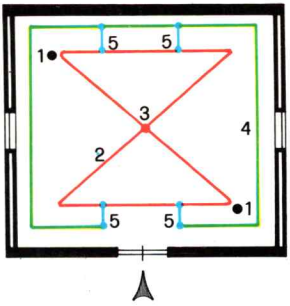
Tipos de bornes para la fijación del colector de tierra



Respecto a las derivaciones del colector de tierra para el empalme a máquinas, aparamenta o a las estructuras metálicas, véase la página 47, en la que se ilustran los diferentes tipos de terminales, tanto para pletinas, hilos o cables.

Sistemas de puesta a tierra

A - Electrodos colocados en el interior



1 — Electrodos en forma de pica: conociendo la resistividad del terreno es posible determinar en una primera aproximación la longitud de los electrodos con relación a la resistencia de tierra que se pretende obtener, recurriendo a la fórmula indicada en la página 27, o bien al diagrama 3 de la página 26.

2 — Red enterrada a 20 - 30 cm por debajo del nivel del pavimento (cable de cobre desnudo con una sección superior a los 35 mm^2) (*). Prepárese el terreno donde deberán ser depositados los conductores que constituyen la red, de acuerdo con las indicaciones de la página 78.

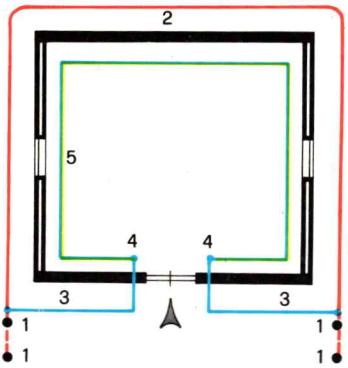
3 — Empalme de la red enterrada, realizado con soldadura fuerte o mediante bornes: evítese del modo más absoluto la soldadura con estaño; los empalmes simples, mediante una ligadura sin soldar, no ofrecen, tampoco una garantía de seguridad.

4 — Colector de tierra a lo largo de las paredes: se puede realizar mediante pletina o alambre de cobre. Se fija a las paredes por medio de bornes adecuados (ver página precedente).

5 — Empalme entre la red enterrada y la línea con tierra.

(*) En lo referente a la profundidad de enterramiento es conveniente consultar con el constructor de la obra a fin de averiguar el espesor previsto para la pavimentación de la cabina. Además, antes de colocar la red, localícese la situación de las eventuales fosas para la descarga del aceite de los transformadores.

B - Electrodos colocados en el exterior



1 — Electrodos en pica (la parte enterrada debe hallarse, por lo menos, a 50 cm por debajo de la superficie del terreno). Es conveniente que se coloque en pozos adecuados para la inspección, provistos de tapa aislante para evitar peligrosas tensiones de paso.

2 — Electrodo en anillo colocado en torno al perímetro de la cabina y enterrado desnudo a una profundidad de 50 cm por lo menos. Puede ser de cobre ($\geq$ 35 mm^2) o de hierro galvanizado ($\geq$ 50 mm^2).

3 — Enlaces entre electrodos y colector de tierra, efectuados con cable de cobre aislado de sección superior a 16 mm^2, enterrado a no menos de 50 cm de profundidad (si está desnudo).

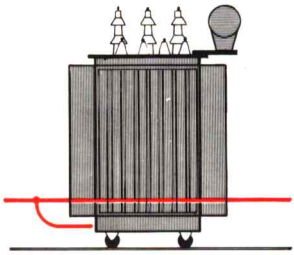
4 — Puntos de empalme entre dichos enlaces y la línea principal de tierra.

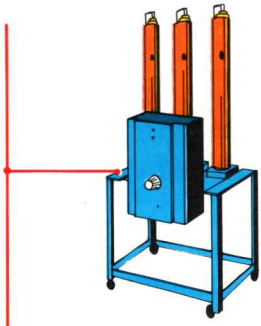
5 — Línea principal de tierra (igual al caso precedente).

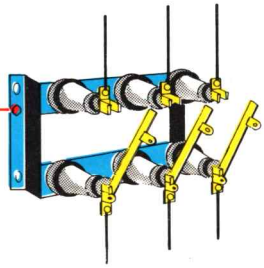
Nota - Es conveniente que la instalación de puesta a tierra de la cabina se efectúe adoptando simultáneamente los dos sistemas indicados (A + B).

Puesta a tierra de máquinas y aparamenta

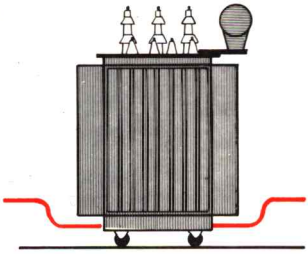
admitido



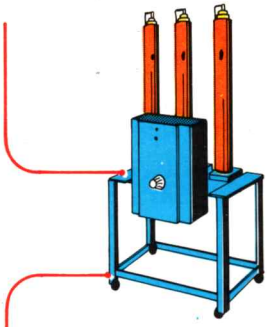


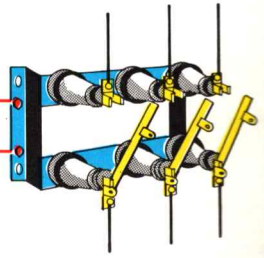


prohibido



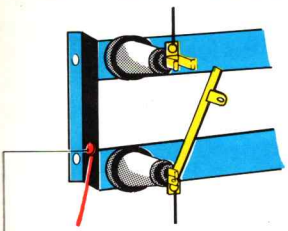
Interrumpir la continuidad del conductor de tierra, o sea, utilizar las cajas de los transformadores para transmitir eventuales corrientes de tierra. Vale lo mismo en cuanto a la aparamenta.



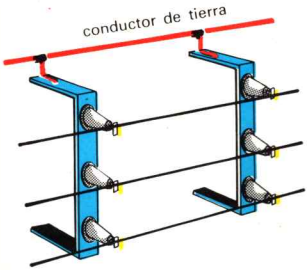


Puesta a tierra de ménsulas y armazones

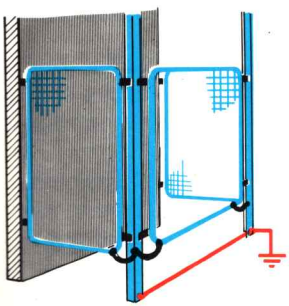
admitido



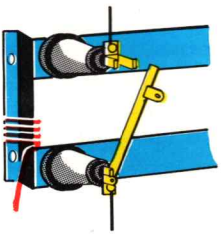
terminal fijado
con un remache



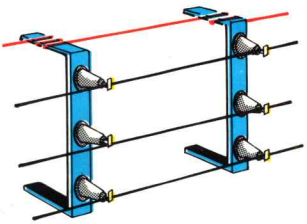
Conectar a tierra todas las ménsulas que soportan aisladores

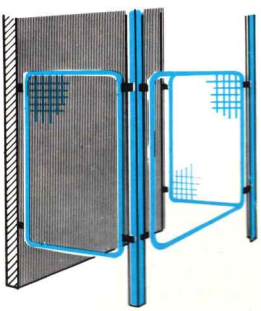


prohibido



Enrollar el conductor de tierra en los perfiles de las armaduras





No poner a tierra las estructuras metálicas y los resguardos de protección. Utilizar charnelas o pernos para la fijación de los resguardos, hechos de material aislante, de modo que no garanticen un contacto metálico óptimo con la estructura puesta a tierra

DESCARGADORES

Sección de los conductores de tierra

Es sabido que los descargadores son aparatos destinados a ser colocados entre los conductores de una línea y tierra, principalmente para limitar las sobretensiones de origen atmosférico provocadas por fulminación directa o por cargas electrostáticas que se producen durante los temporales. Dichas descargas podrían comprometer seriamente los transformadores o el resto de aparamenta puesta en derivación con la línea aérea de alimentación.

Los descargadores no sólo se instalan en las líneas de alta tensión sino también en las de baja tensión (un ejemplo típico es la alimentación de una villa o de una alquería por medio de una línea aérea).

Para la función citada, la conexión a tierra se convierte en un elemento de capital importancia para el funcionamiento del descargador.

La sección de los conductores que conecten el descargador con el electrodo de tierra (del tipo en pica) no debe ser superior a:

24 + 0,4 U para los conductores de cobre
40 + 0,6 U para los conductores de aluminio

cualquiera que sea la sección de los conductores de línea, siendo U la tensión nominal de la red de distribución (expresada en kilovoltios) (*).

Ejemplo

La sección del conductor de tierra, de cobre, de los descargadores acoplados a una línea de 15000 voltios (15 kV) no debe ser inferior a:
$24 + 0{,}4 \cdot 15 = 30$ mm².

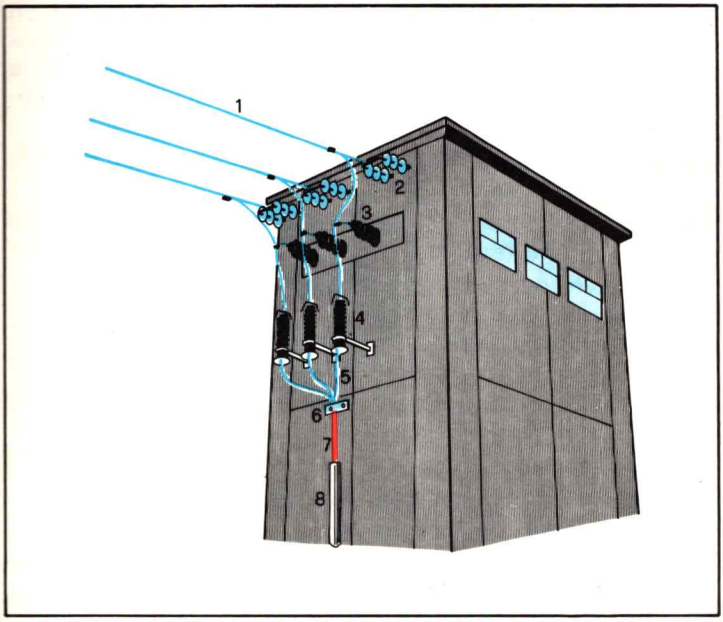
Si se trata de baja tensión, por ejemplo 220 V, tendremos:
$24 + 0{,}4 \cdot 0{,}220 = 24{,}08$ mm², redondeado a 25 mm².

En cualquier caso la legislación relativa a la prevención de accidentes laborales, prescribe que la sección de los conductores de cobre empleados para la puesta a tierra de los descargadores no debe ser inferior a 25 mm².

Acerca de la instalación de los conductores, téngase en cuenta lo siguiente:
—se escogerán los recorridos que tengan la menor longitud posible;
—el recorrido debe desarrollarse sin giros bruscos (en los cambios de dirección evítense las aristas vivas);
—evítese que los conductores sean accesibles: un contacto fortuito puede resultar peligroso.

(*) No se admite el empleo de ninguna clase de conductores de acero.

Media tensión (cabina de transformación)



1 — Línea aérea.
2 — Aisladores para anclaje de la línea al edificio.
3 — Aisladores pasamuros para introducir la línea en el edificio.
4 — Descargadores.
5 — Conexiones de tierra de los descargadores.
6 — Borne para la puesta en paralelo de las conexiones citadas en el punto 5.
7 — Conductor de tierra. Dicho conductor se puede colocar en el exterior del edificio o llevarlo al interior y conectarlo a la red de tierra de la cabina. Es importante que este conductor vaya a parar *directamente* a una pica; luego se conectará ésta a la red local de tierra.
8 — Tubo no metálico para protección contra daños mecánicos.

PUESTA A TIERRA DURANTE LA EJECUCION DE TRABAJO

Normas legislativas

La legislación en materia de prevención de accidentes laborales prohíbe, taxativamente, la ejecución de trabajos en máquinas, equipo, o partes de una instalación que se encuentre bajo tensión. Esta disposición es válida cuando la tensión respecto de tierra es superior a 25 voltios en corriente alterna o a 50 voltios en continua.

En tensiones hasta 1 000 voltios se admite la derogación de esta norma a condición de que:

—la orden de efectuar el trabajo sobre partes bajo tensión sea dada por el jefe responsable;

—se adopten todas las medidas oportunas para garantizar la integridad física de los trabajadores (peanas aislantes, empleo de guantes y calzado aislantes, herramientas con mango aislante, etc.)

En instalaciones con tensión superior a 1 000 V no subsiste la derogación y es preciso:

—cortar la tensión;

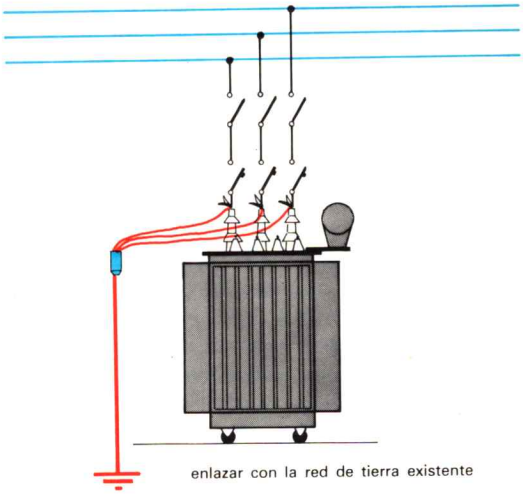
— interrumpir el circuito *de modo visible* en los puntos de alimentación (abrir los seccionadores);

—colocar un aviso en todos los puestos de maniobra y de mando con el siguiente texto: "Trabajos en curso, no realizar maniobras";

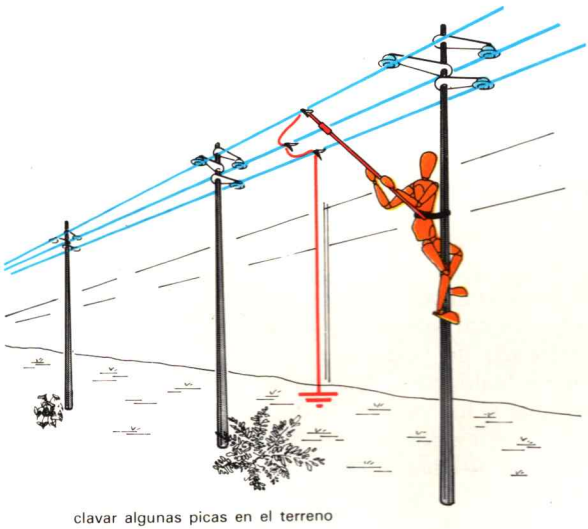
—aislar y poner a tierra todas las fases en la parte de instalación donde se realicen los trabajos.

El cumplimiento de esta última recomendación, se satisface con el empleo de oportunos terminales, varillas o cuchillas de tierra.

Atención.— En los trabajos en motores, aparatos y conductores eléctricos donde se den condiciones particularmente peligrosas y cuya ejecución esté confiada a un solo operario, deberá estar presente, además, otra persona.



enlazar con la red de tierra existente



clavar algunas picas en el terreno

COMPROBACIONES Y MEDIDAS

Controles a realizar

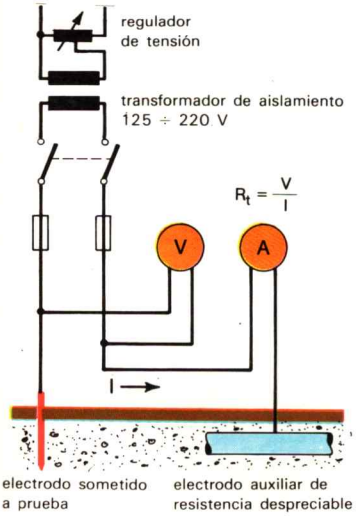
Respecto a aquellas instalaciones que caen en el ámbito de las prescripciones legislativas en materia de prevención de accidentes laborales, se prevén unas comprobaciones en las instalaciones de puesta a tierra y, concretamente:
—antes de la puesta en funcionamiento (por parte del instalador o por el verificador a quien se lo haya encargado el usuario);
—periódicamente, a intervalos no superiores a los dos años, por parte del ENPI, a fin de comprobar el estado de eficiencia y controlar que en dicho periodo de tiempo no se hayan alterado las características en base a las cuales se realizó la instalación (ampliaciones o nuevas instalaciones). (*)
Las instalaciones de puesta a tierra deben ser notificadas al ENPI en el plazo de un mes a partir de la entrada en funcionamiento. Dicha notificación debe ser llevada a cabo por los propietarios de la instalación. A tal fin se han previsto unas fichas de color rosa en las que se indicará las características constructivas de la instalación (modelo B).
También las instalaciones y dispositivos contra las descargas atmosféricas deben ser notificados al ENPI en el plazo de un mes a partir de su puesta en servicio, igualmente por medio de una ficha (de color azul, modelo A).
Las normas CEI prescriben las siguientes comprobaciones y medidas que deberán ser llevadas a cabo antes de poner en servicio la instalación:
1 - verificar la eficiencia de la instalación de tierra. Partiendo de los electrodos, controlar la ejecución de los empalmes;
2 - asegurarse de que todas las tuercas y tornillos estén apretados a fondo y, en especial, de que los materiales utilizados no puedan dar lugar a fenómenos de corrosión (véase página 46);
3 - controlar la sección de los conductores de tierra y de protección; verificar además que su colocación no pueda originar deterioros de tipo mecánico;
4 - medir el valor de la resistencia de tierra de la instalación;
5 - controlar si los valores de resistencia medidos están exactamente coordinados con los dispositivos de intervención por máximo de corriente o diferenciales;
6 - llevar a cabo, si es preciso, la medida de las tensiones de contacto y de paso.

(*) N del T.— En España es el M. de Industria, a través de las correspondientes Delegaciones, el encargado de conceder las autorizaciones y efectuar las inspecciones (MI BT 039-10).

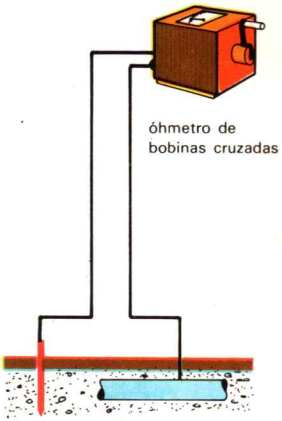
Métodos y medidas

Método del electrodo auxiliar de resistencia despreciable

Su empleo es apropiado en áreas donde suele ser imposible encontrar espacios adecuados para hincar las sondas de tensión y de corriente.



Procedimiento voltamperimétrico



Procedimiento con medidor de tierra

advertencias

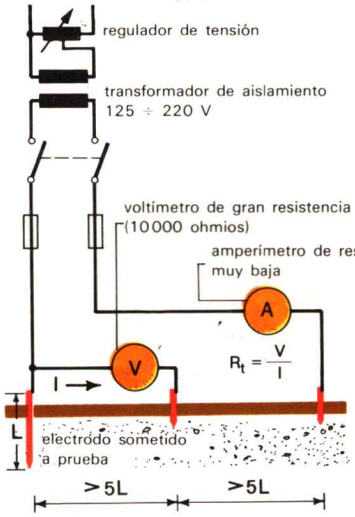
—Utilizar redes extensas de conducción de agua, profundamente enterradas.

—Asegurarse de que dicha red no se halla demasiado próxima al electrodo sometido a ensayo (podría falsearse la medida).

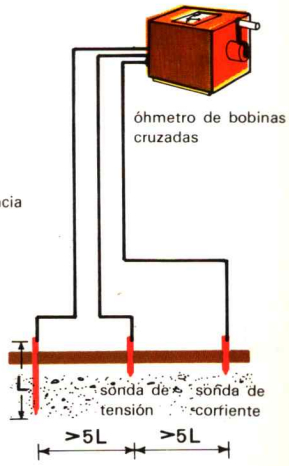
—El valor medido comprende tanto la resistencia de tierra del electrodo como la de la red hidráulica. Ahora bien, si ésta es muy extensa, puede considerársela despreciable y asumir, por consiguiente, el valor medido como resistencia de tierra del electrodo ensayado.

—No utilizar tuberías de gas o de aire comprimido.

Método de la caída de tensión



Procedimiento voltamperimétrico



Procedimiento con medidor de tierra

Notas prácticas

Efectúense las medidas con corriente alterna (es desaconsejable el empleo de corriente continua ya que con ella se producen fenómenos de polarización).

Verificar las condiciones de cero de los instrumentos y tamborilear en ellos suavemente con el dedo, durante la medición.

Al emplear el sistema voltamperimétrico, comprobar que el voltímetro no indique tensión, antes de hacer circular la corriente de prueba, lo que significaría la existencia en el terreno de otras corrientes de dispersión, independientes del circuito que se está probando.

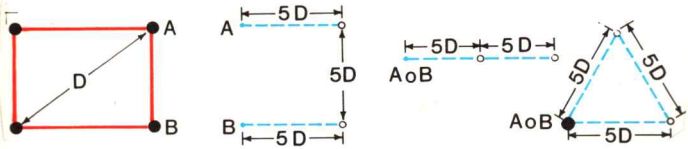
Asimismo, con el sistema voltamperimétrico, es necesario el empleo del transformador de aislamiento a fin de no poner a tierra una fase de la red de alimentación.

advertencias

—Los dos electrodos auxiliares (sondas de tensión y corriente) pueden tener unas dimensiones discretas por cuanto su resistencia de tierra no es determinante para los fines de la medida. Existen en los comercios cajas que contienen todos los accesorios.

—Colocar las sondas lejos de la instalación de tierra a fin de que no se vean influidas por la propia instalación. Asimismo, la distancia entre las sondas será tal que se eviten los fenómenos de interferencia. No es preciso que las sondas se coloquen en línea con el electrodo objeto de la prueba.

—Cuando se trate de un sistema constituido por diversos electrodos en pica (o en anillo) dispónganse las sondas de tensión y de corriente en la forma indicada en la figura.



• sistema de electrodos ○ sondas de tensión y de corriente

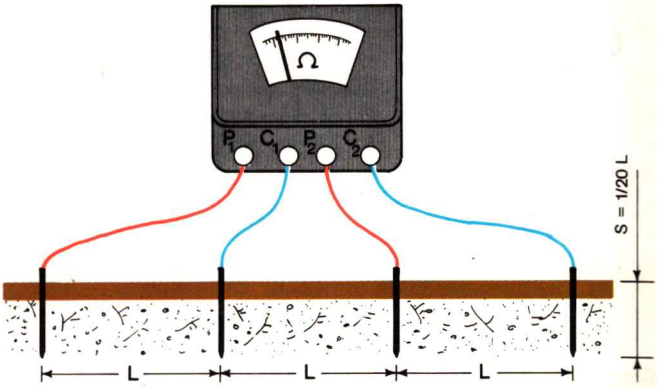
—Efectúese una primera medida; luego desplácese unos metros la sonda de tensión y repítase la medida: si el valor hallado es igual al precedente (o se desvía solamente en un 5%) ello significa que las sondas no se influyen mutuamente; en el caso contrario, auméntense las distancias.

—Además de los óhmetros con bobinas cruzadas, existen en el mercado otros tipos de aparatos con alimentación interna a baterías.

—Empléense guantes de goma para protegerse de las tensiones accidentales.

Medida de la resistividad del terreno

En la página 18 se han indicado los valores típicos de resistividad en diferentes clases de terreno. Para que se puedan utilizar las fórmulas o los diagramas de las páginas 24 a 27 es conveniente llevar a cabo medidas de resistividad. Empléense óhmetros con cuatro bornes.
Las sondas de tensión y corriente pueden ser las mismas que se emplean para la medida de la resistencia de tierra.



advertencias

—Colocar las sondas en línea recta y a igual distancia (*L*).

—La profundidad de clavado (*S*) será igual a 1/20 *L*.

—En los suelos homogéneos, la resistividad (ρ_t) se calcula así:

$$\rho_t = 2\,\pi\,LR$$

siendo *R* el valor leído en el instrumento. Por ejemplo, adoptando $L = 10$ ($S = 0{,}5$), para $R = 10\,\Omega$, se tendrá:

$$\rho_t = 2 \times 3{,}14 \times 10 \times 10 = 628\ \Omega \cdot m$$

—Llevar a cabo diversas medidas, en posiciones diferentes, y calcular la media.

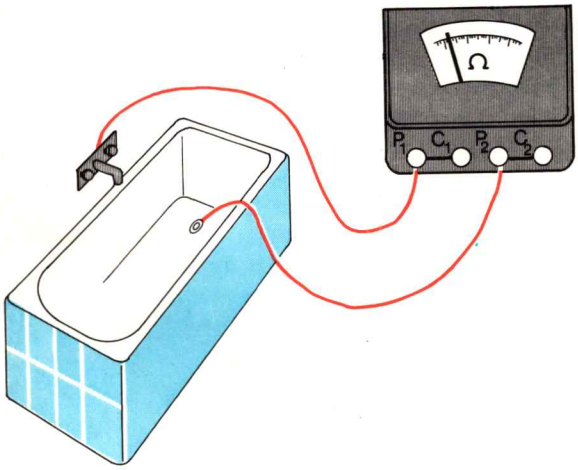
—Efectuar las medidas a diferente profundidad del terreno.

—La presencia de tuberías o de conducciones eléctricas enterradas en las inmediaciones, puede falsear las medidas. De ahí que resulte difícil efectuar medidas en los centros habitados.

Medida de la resistencia de la conexión equipotencial en los baños

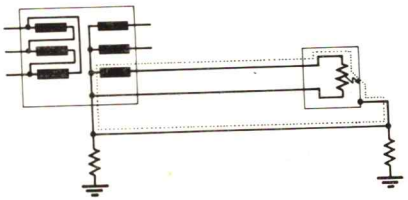
En la página 59 hemos dicho que la resistencia de la conexión equipotencial en los baños no debe ser superior a 0,2 ohmios. Por lo tanto, es necesario controlar dicho valor por medio de un óhmetro.

Asegurarse de que las puntas de los conductores toquen realmente zonas metálicas que forman parte de la instalación equipotencial. Así pues, respecto al grupo de grifos será conveniente acceder directamente a las tuberías; en los desagües, cuando la bañera sea de plástico, localícese un punto metálico perteneciente al propio desagüe. Una eventual resistencia de contacto podría falsear la medida.



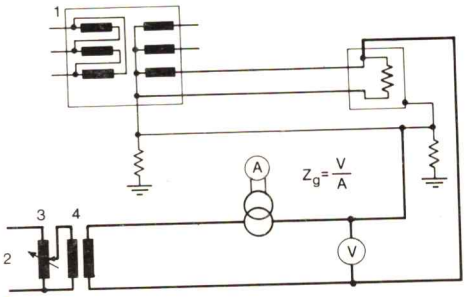
Medida de la impedancia del bucle de defecto

En la página 75 se ha puntualizado que, cuando se trata de instalaciones alimentadas mediante una cabina autónoma de transformación, la instalación de tierra debe ser única y a la misma debe conectarse el centro del secundario en estrella, del transformador.



Un defecto franco a tierra se transforma en un cortocircuito sobre el neutro.

Por lo que respecta a la eficacia de la protección se deberá controlar que se cumpla la relación citada en la página 79 y, por consiguiente, medir la impedancia del bucle de defecto. Para ello existen aparatos específicos; sin embargo, se puede llevar a cabo dicha medida por el método voltamperimétrico. Dado que la relación de la página 79 debe ser válida en cualquier punto del circuito, se deberá efectuar la medida en las condiciones más desfavorables que normalmente puedan producirse en el punto de utilización más alejado del dispositivo de protección propiamente dicho.
Una vez localizados dichos puntos se podrá efectuar la medida de acuerdo con el siguiente esquema:



1 – Cabina, *no alimentada*
2 – Alimentación del circuito de medida
3 – Regulador de tensión
4 – Transformador reductor

En el plano práctico, el secundario del transformador reductor deberá ser apto para suministrar corrientes elevadas y las medidas se realizarán con diferentes valores de corriente.